

An aerial photograph of Earth's surface, showing a coastline with a bay and inland features like a large lake or wetland area. The image is used as a background for the text.

Budowa (anatomia) Ziemi

Grzegorz Karwasz

Wykład 3

Współpraca: mgr Justyna Chojnacka

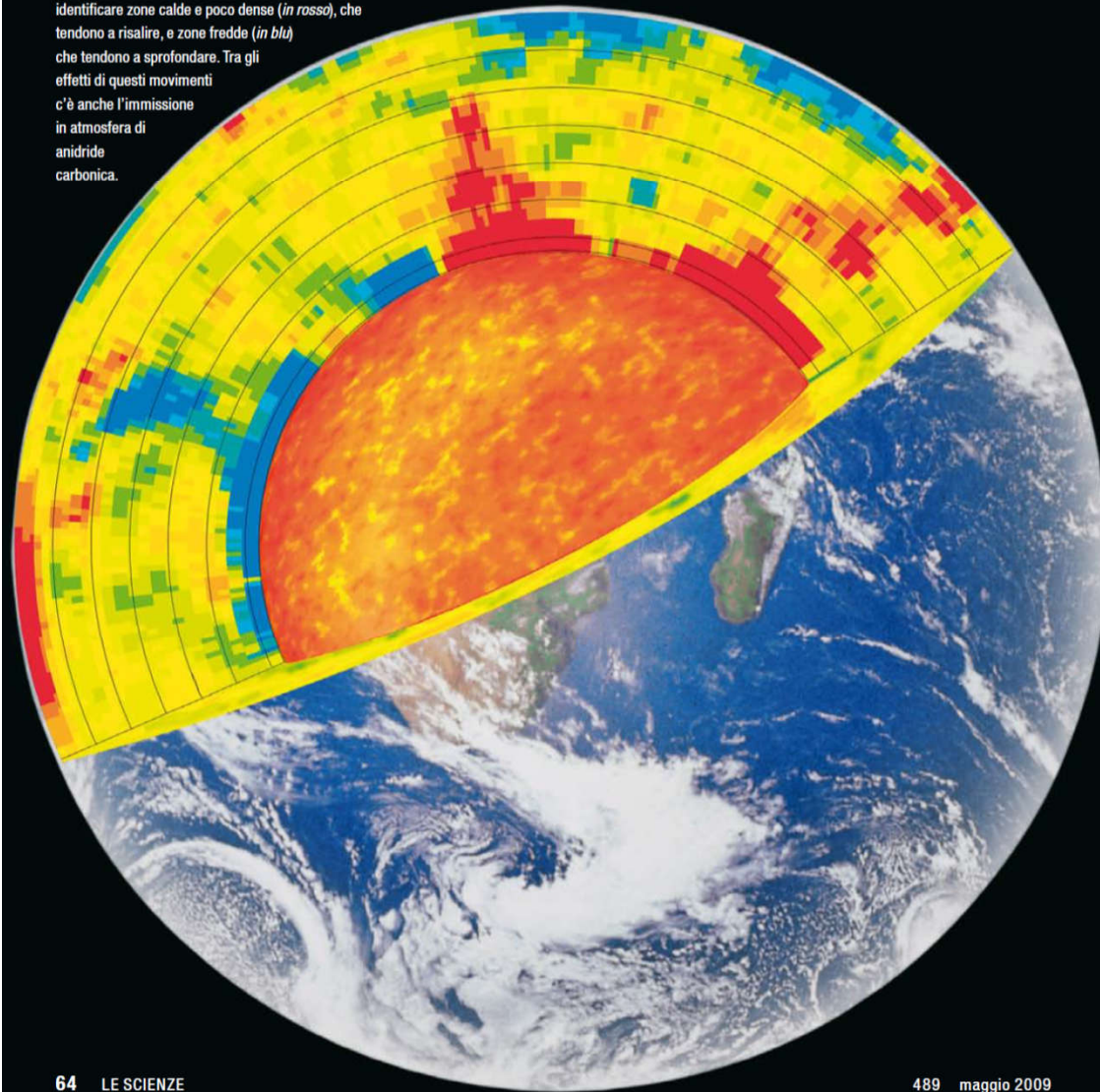
https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/761

<http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Ziemia/ksztalt.html>

Il clima che viene

di Enrico Bonatti

ANATOMIA DELLA TERRA. La velocità con cui viaggiano nel mantello (in giallo) le onde sismiche generate dai grossi terremoti permette di identificare zone calde e poco dense (in rosso), che tendono a risalire, e zone fredde (in blu) che tendono a sprofondare. Tra gli effetti di questi movimenti c'è anche l'immissione in atmosfera di anidride carbonica.



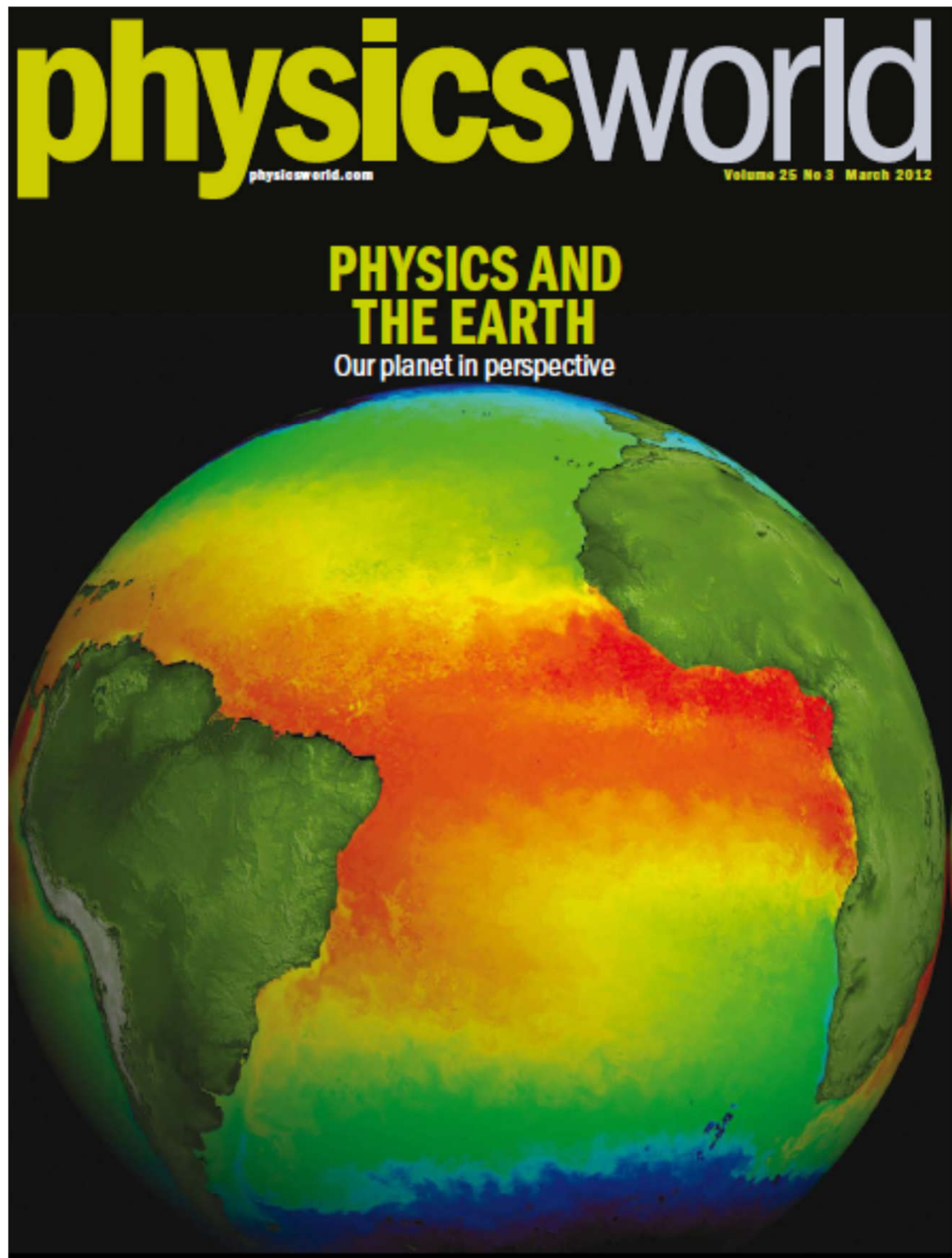
64 LE SCIENZE

489 maggio 2009

Klimat, który zmienia się od spodu

Zmiany w przyptywie energii słonecznej i zużycie paliw kopalnych nie są jedynymi czynnikami modyfikującymi klimat. Czynniki wewnętrzne planety również powodują zmiany klimatyczne, jak to miało miejsce w odległej przeszłości. Wśród procesów, które zachodzą na Ziemi i które zmieniły klimat, są to wulkanizm, dryf kontynentów, powstawanie łańcuchów górskich i niezwykle wydarzenia, takie jak wynoszenie się wyjątkowo gorących mas z głębi płaszcza. Nie wiemy, jak długo jeszcze dynamika planety będzie wpływać na klimat w skali czasowej dziesiątek czy setek milionów lat.

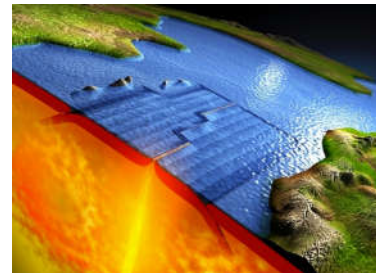
Ziemia,
również
dla człowieka



Składniki systemu „GEO”:

- Litosfera
- Hydrosfera
- Atmosfera
- Biosfera
- „Antroposfera”

Geo-fizyka



2. J. Chojnacka, G. Karwasz

Jakiego kształtu jest "kula" ziemską?

Geografia w Szkole, 6/2011, 2011, 45-51.

3. G. Karwasz, J. Chojnacka,

Wewnętrzny ogień, czyli o tektonice płyt Ziemi,

Geografia w Szkole, 3/2012, p. 28.

4. G. Karwasz,

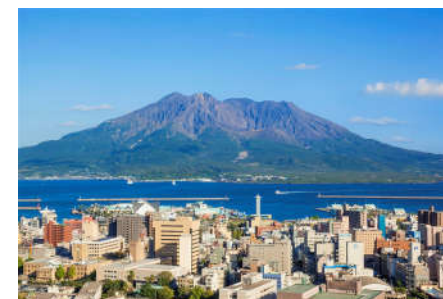
Między Scyllą a Charybdą, czyli o Homerze i wulkanach

Geografia w Szkole, 2/2014, 20 - 22

5. G. Karwasz,

Dymiąca Ziemia - pytania o wulkanach

Geografia w Szkole, 2/2014, 23 - 24



✓ Planeta Ziemia

Ziemia jest największą planetą skalistą w Układzie Słonecznym....

Wiek: 4,567 mld lat

masa - $5,9736 \times 10^{24}$ kg

Promień równikowy – 6371 km

obwód równikowy - około 40 tys. km

Odległość od Słońca – 149-151 mln 890 km (3 styczeń/ 2 lipiec)

średnia gęstość - $5,51 \text{ g/cm}^3$

... i jedyną, zapewne, we Wszechświecie, na której występuje życie.

✓ Planeta Ziemia

- Ziemia (Układ Słoneczny) powstały ok. 4,5 mld lat temu (4,567 według najnowszych oszacowań), po wybuchu gwiazdy – poprzedniczki Słońca.
- Ziemia (i inne planety) powstały obłoku gazów, lodu i pyłów pozostałych po uformowaniu się Słońca. Na skutek wzajemnych kolizji ziarna pyłu zaczęły tworzyć coraz większe obiekty. Niewielkich jeszcze rozmiarów Ziemia, ulegała ciągłym zderzeniom. Na skutek wydzielania się ogromnej ilości ciepła (w wyniku grawitacyjnej zapaści) początkowo wymieszane pierwiastki żelazo, nikiel i krzem zaczęły się topić i rozdzielać. Żelazo i nikiel skupione są głównie w środku Ziemi, a lżejsze, jak krzem, glin, tlen, magnez, potas – w warstwach bardziej zewnętrznych.
- Ziemia już w ciągu 10 mln osiągnęła rozmiary bliskie połowie swojej obecnej objętości... dalszy jej wzrost to kolejne 100 mln lat.
- Tak około 100 mln lat od początków formowania się Układu Słonecznego, w wyniku zderzenia Ziemi z obiektem o rozmiarach Marsa powstał satelita Ziemi: Księżyc.

Księżyc= stabilizator

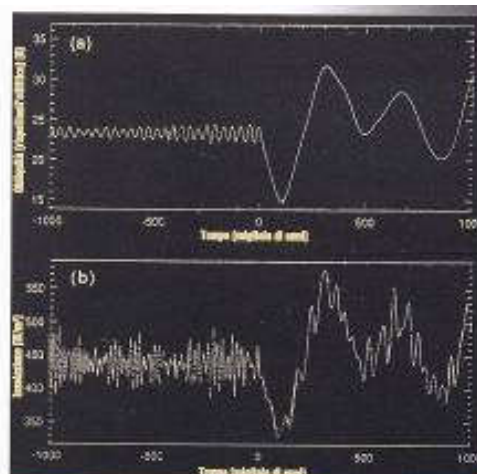
Masa=1/81 R=1738 km (~1/4R₀)

g'=1/6 g d=3.34g/cm³

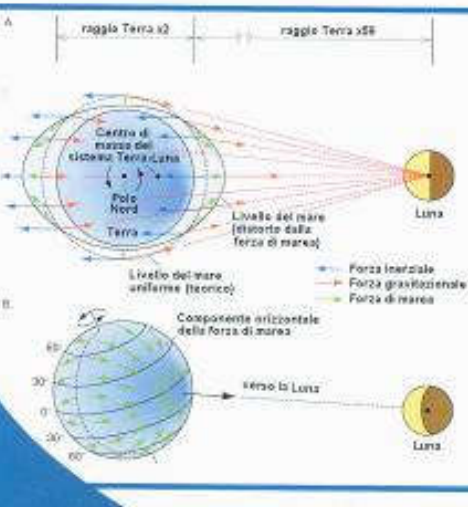
T= -160°C – +120°C



e un caso anomalo, nel quale le dimensioni del satellite sono paragonabili a quelle del pianeta compagno. Dettagliate simulazioni al computer hanno dimostrato che se la Luna non esistesse, o fosse molto più piccola, l'obliquità della Terra varierebbe caoticamente da 0° a 85°, mantenendosi oltre i 50° per milioni di anni. Ciò avrebbe conseguenze climatiche devastanti. Grazie al campo gravitazionale lunare l'inclinazione dell'asse terrestre è rimasta pressoché costante (entro appena 1,3°) per oltre 3 miliardi di anni, assicurando la necessaria stabilità climatica durante il lunghissimo periodo necessario per il fiorire della vita.



che questo abbia giocato un ruolo importante nel dar forma alla crosta terrestre. Se orbitasse in senso opposto, si allontanerebbe o si avvicinerebbe lentamente finendo per collidere con la Terra. È lo stesso che accadrà a Tritone, il grande satellite di Nettuno, destinato a schiantarsi sulla superficie di Nettuno nel giro di un centinaio di milioni di anni.

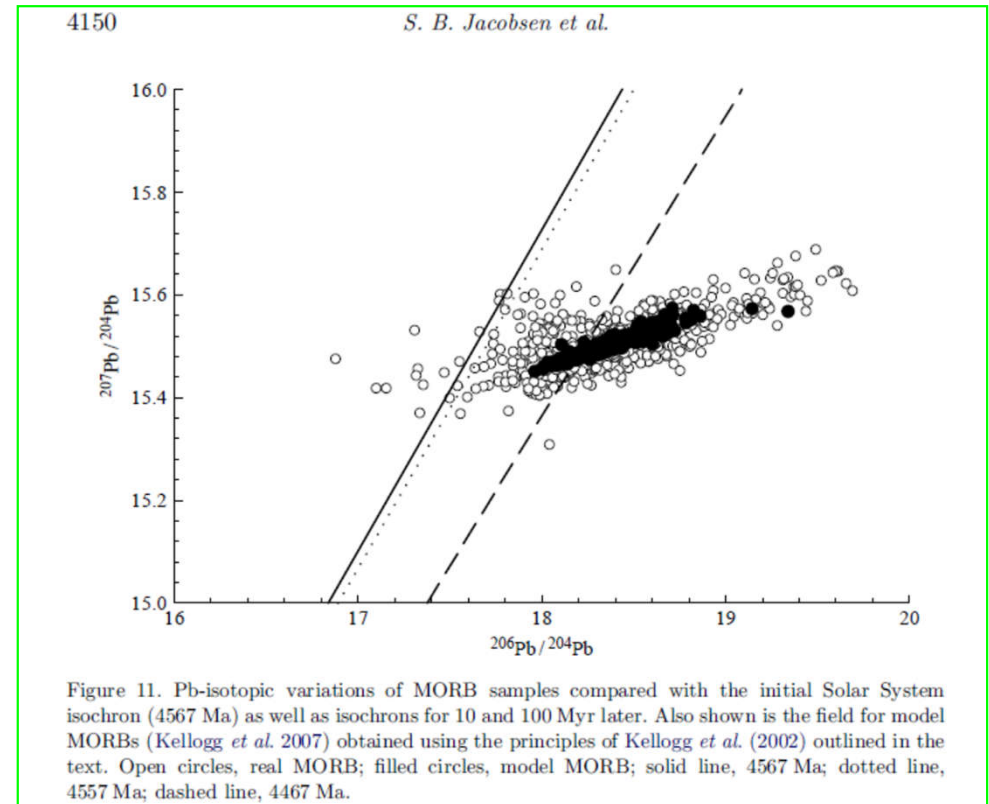
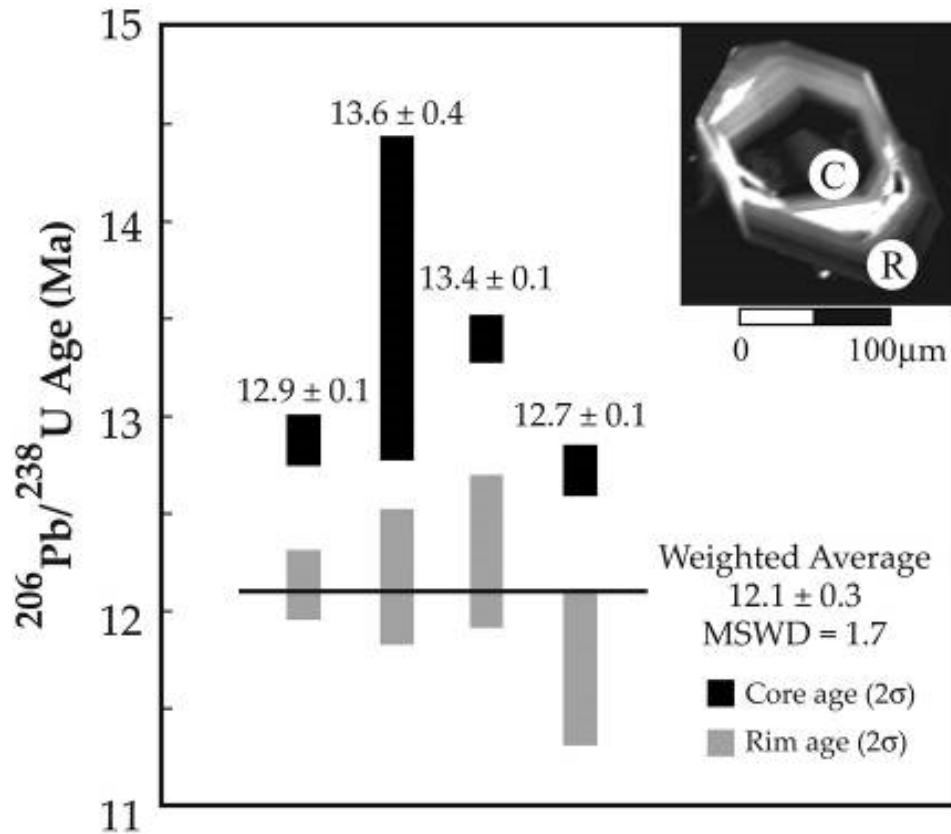


Le forze che producono gli effetti di marea sono generate dalla forza gravitazionale della Luna e dall'inerzia. Nel lato della Terra esposto verso la Luna la forza di gravità eccede la forza di reazione. La forza in eccesso distorce il livello dell'acqua negli oceani da quello di una sfera, e fa sorgere un incremento mareale. Nel lato opposto della Terra, dove la forza di inerzia supera quella gravitazionale della Luna, l'eccesso di forza di inerzia pure produce un incremento del livello del mare.



✓ Wiek Ziemi:

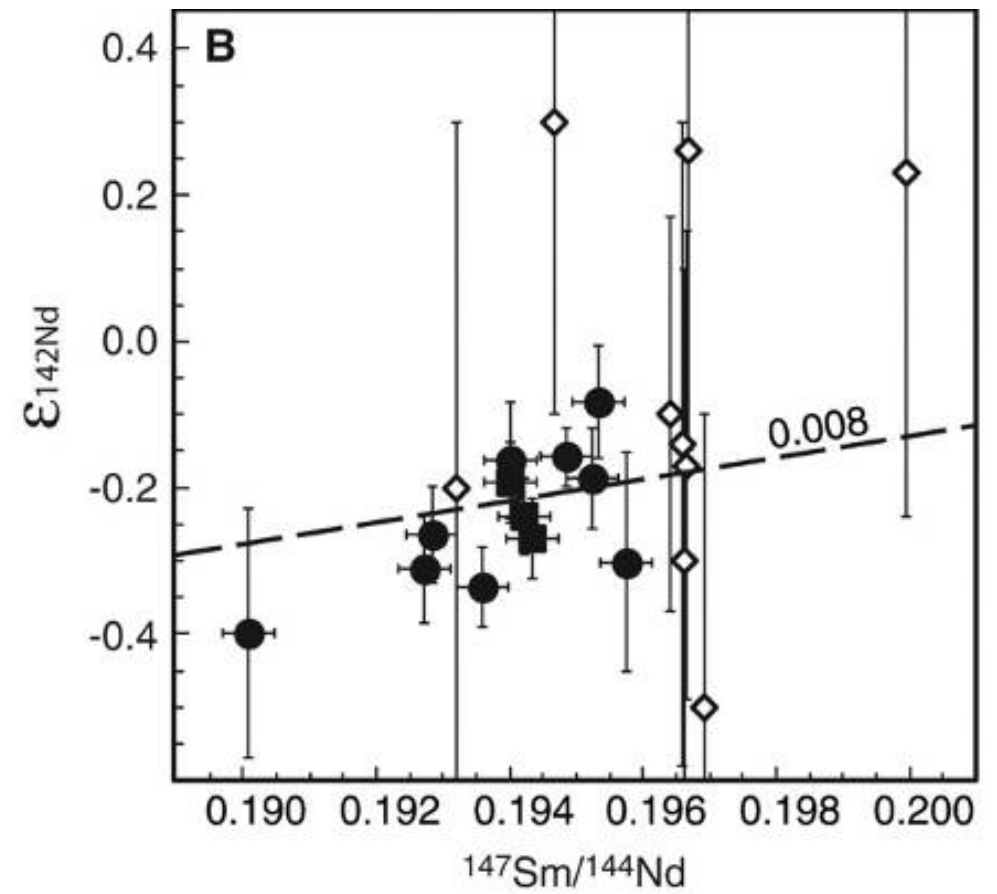
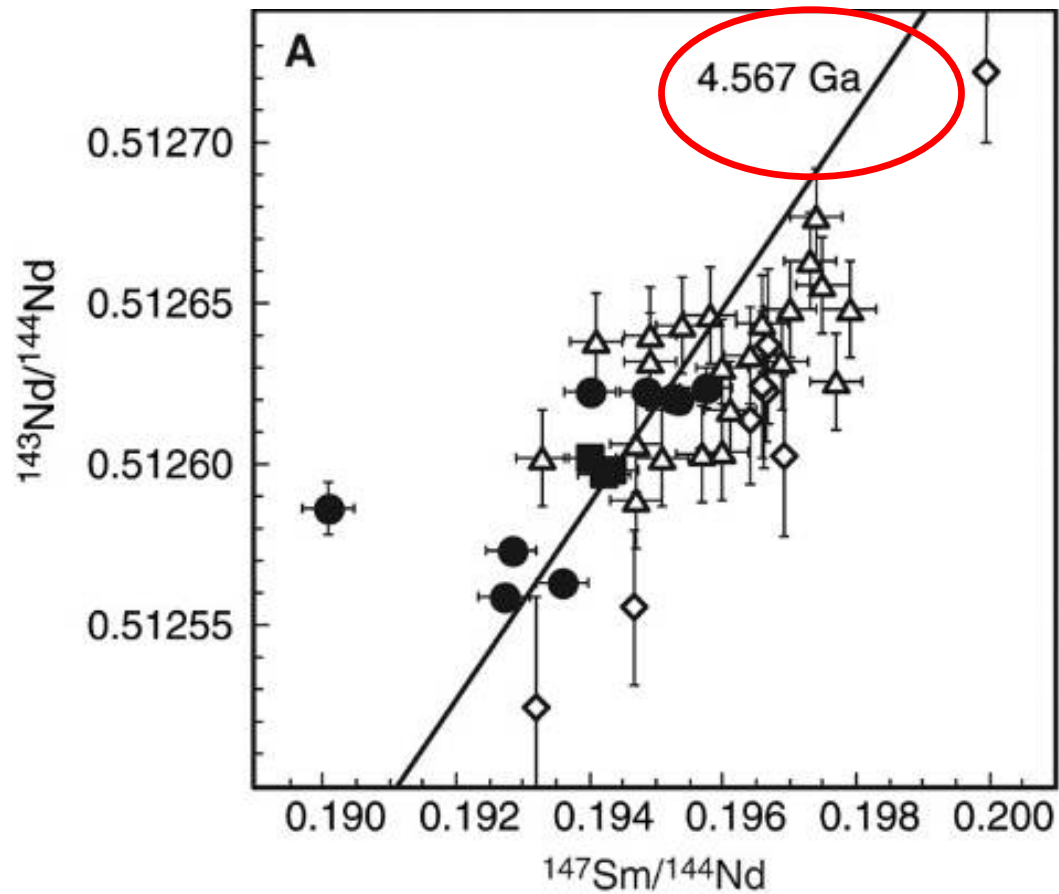
Oceniamy go ze stosunku izotopów , np. Pb i U



Kryształki cyrkonii, odpornej na ścieranie

✓ Wiek Ziemi: 4,567 mld lat

(jedno z ostatnich oszacowań, ale łatwe do zapamiętania)



✓ Najstarsze skały ~ 4,2 mld lat

Neodymium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust

Jonathan O'Neil,^{1*} Richard W. Carlson,² Don Francis,¹ Ross K. Stevenson³

Neodymium-142 data for rocks from the Nuvvuagittuq greenstone belt in northern Quebec, Canada, show that some rock types have lower $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios than the terrestrial standard ($\epsilon^{142}\text{Nd} = -0.07$ to -0.15). Within a mafic amphibolite unit, $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios correlate positively with Sm/Nd ratios and produce a ^{146}Sm - ^{142}Nd isochron with an age of 4280^{+53}_{-81} million years. These rocks thus sample incompatible-element-enriched material formed shortly after Earth formation and may represent the oldest preserved crustal section on Earth.

Acasta gneiss

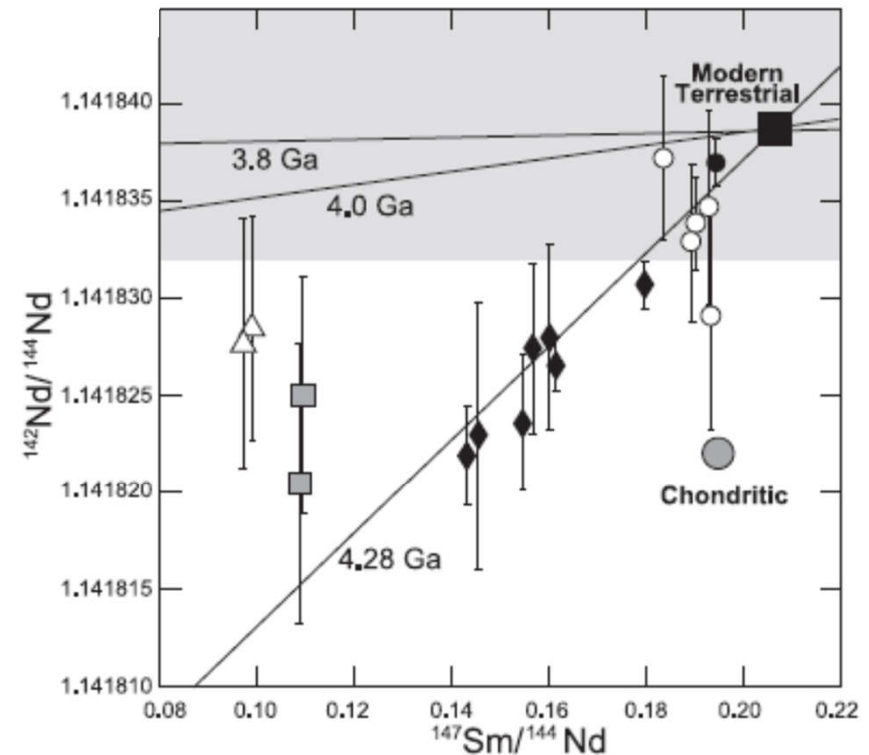
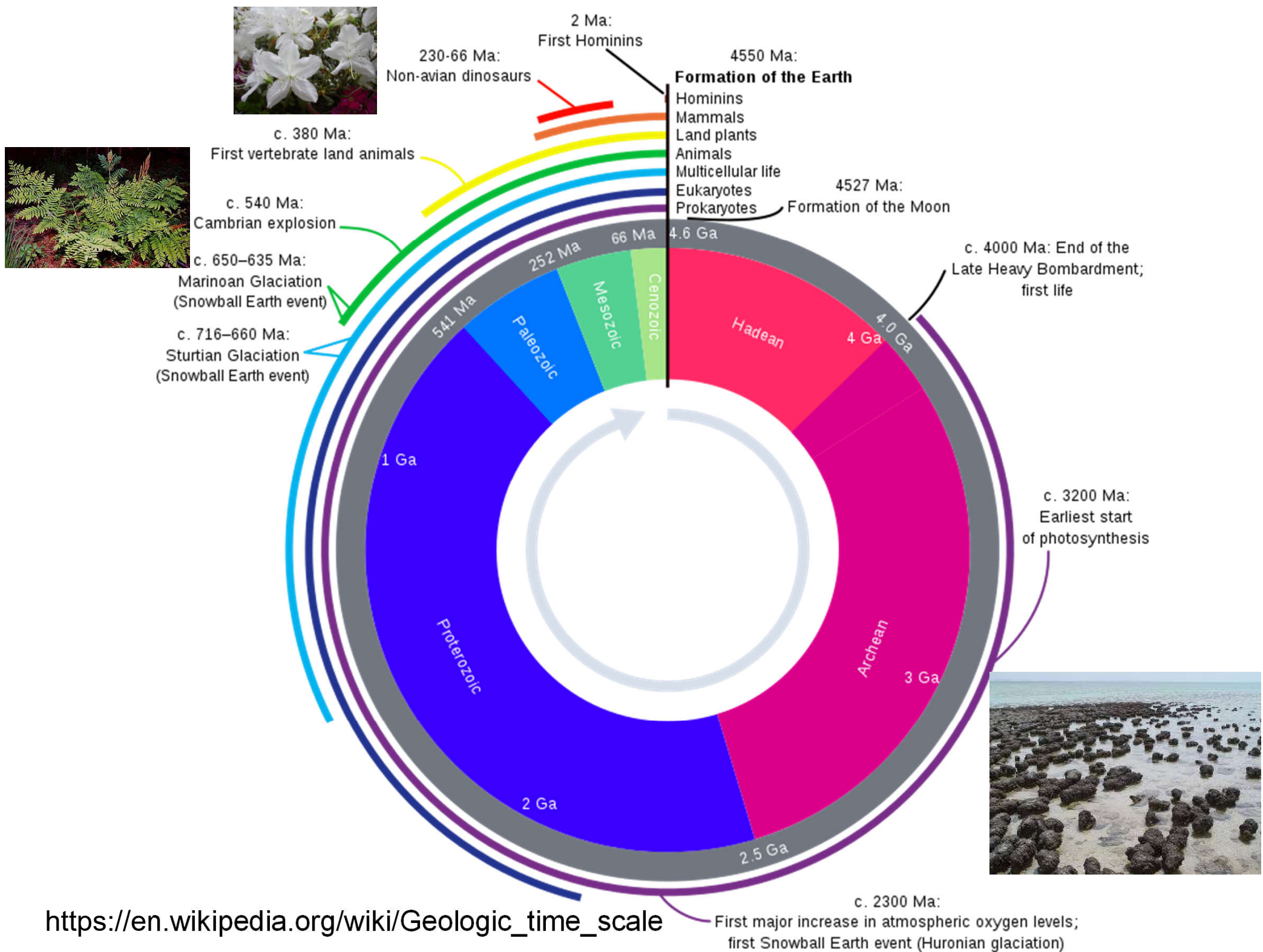


Fig. 3. $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ isochron diagram. Symbols as described for Fig. 2. Only the average value of replicate analyses is plotted on this figure. The horizontal gray band shows the ± 6 ppm external precision obtained on the terrestrial standard. Error bars on individual samples are either the 2σ mean of multiple analyses or the 2σ mean of the individual mass spectrometer run for samples run only once. The best fit line through the faux-amphibolite and gabbro data corresponding to an age of 4.28 Gy is shown, as are 3.8- and 4.0-Gy isochrons for reference. The gray circle shows the average value measured for ordinary and enstatite chondrites (12).

«Geodium», Torun, quattro ere della Terra



1. Epoka Ognia
2. Era wody
3. Epoka lodowcowa
4. Wiek człowieka

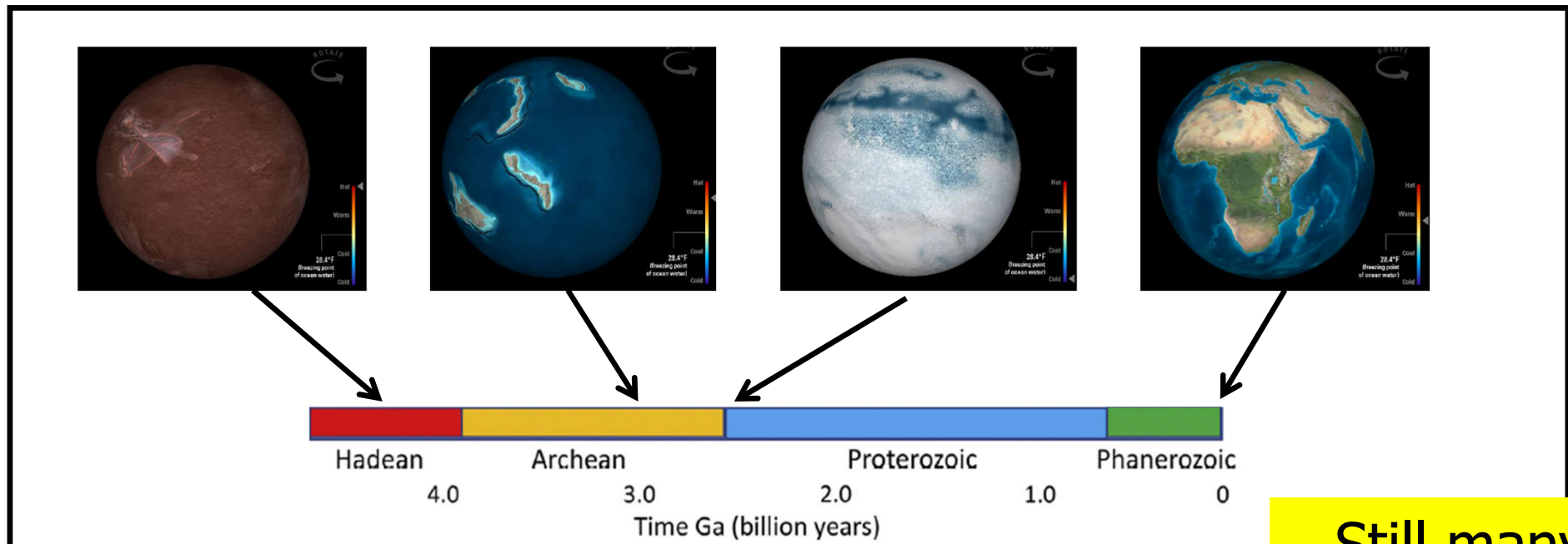


https://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_time_scale

Origin and evolution of the Earth's atmosphere

© Daniela Ascenzi, Uni Trento

- Earth and the Solar system formed about 4.5 billion years ago
- Was the atmosphere the same from the beginning?
- What are the processes that led to the formation of an atmosphere?



<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/travel-through-deep-time-interactive-earth-180952886/>

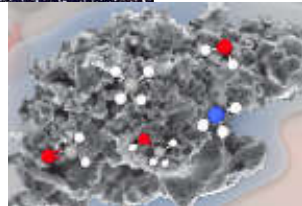
Still many
uncertainties

Formation of the Solar system

STEP1: pre-stellar



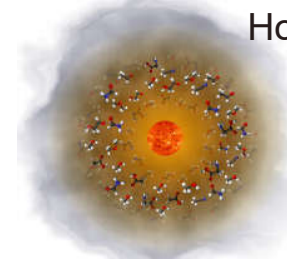
Size $\sim 10^4$ au
Duration $\sim 10^5$ yr
gas+dust \rightarrow icy
mantle formation



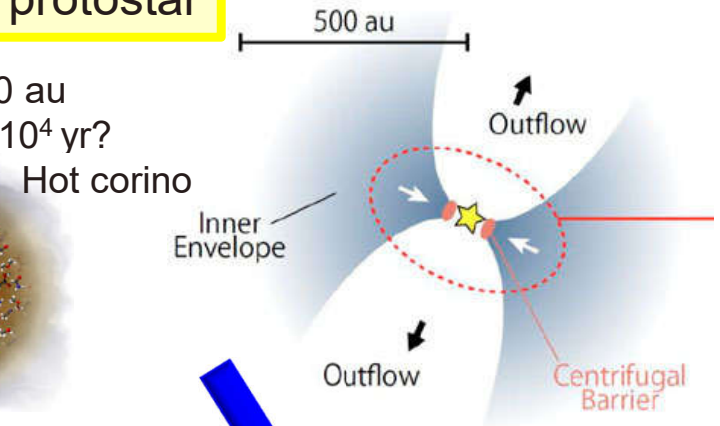
interstellar clouds:
 $\sim 1\%$ dust
 $\sim 99\%$ gas

STEP2: protostar

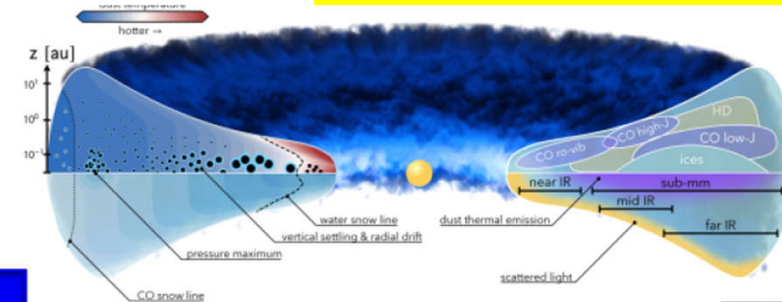
Size $\sim 5-100$ au
Duration $\sim 10^4$ yr?



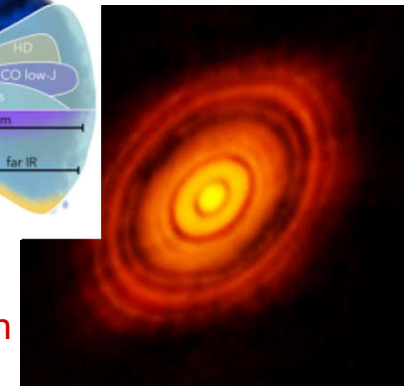
icy mantle
sublimation



STEP3: protoplanetary disk



Size $\sim 10-200$ au
Duration $\sim 10^6$ yr
Dust
agglomeration



STEP4: planetary system

planets
comets
meteorites
asteroids



Small objects
(planetesimals)
accreted or combined
together to build larger
objects (planets)

Differentiation of the Earth

- Early Earth was mostly molten («liquid rock») due to high temperatures (heat released from the accretion process and radioactive decay)
-

differentiation of the Early earth

<https://www.youtube.com/watch?v=YKM6xhBK738>

<https://www.slideshare.net/KhanImran5975/how-did-atmosphere-form>

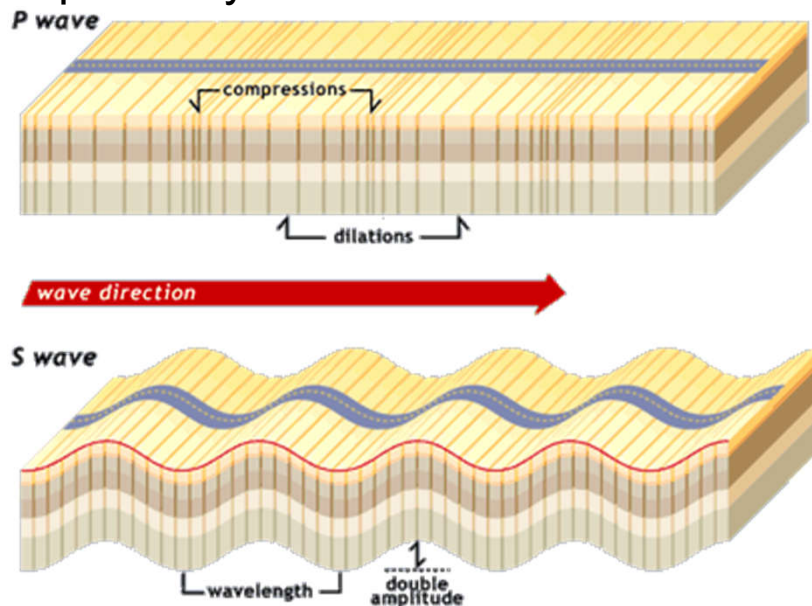
https://pages.uoregon.edu/drt/Classes/201_99/Rice/differentiation.html

© Daniela Ascenzi, UniTn

✓ Z sejsmologią w głąb Ziemi

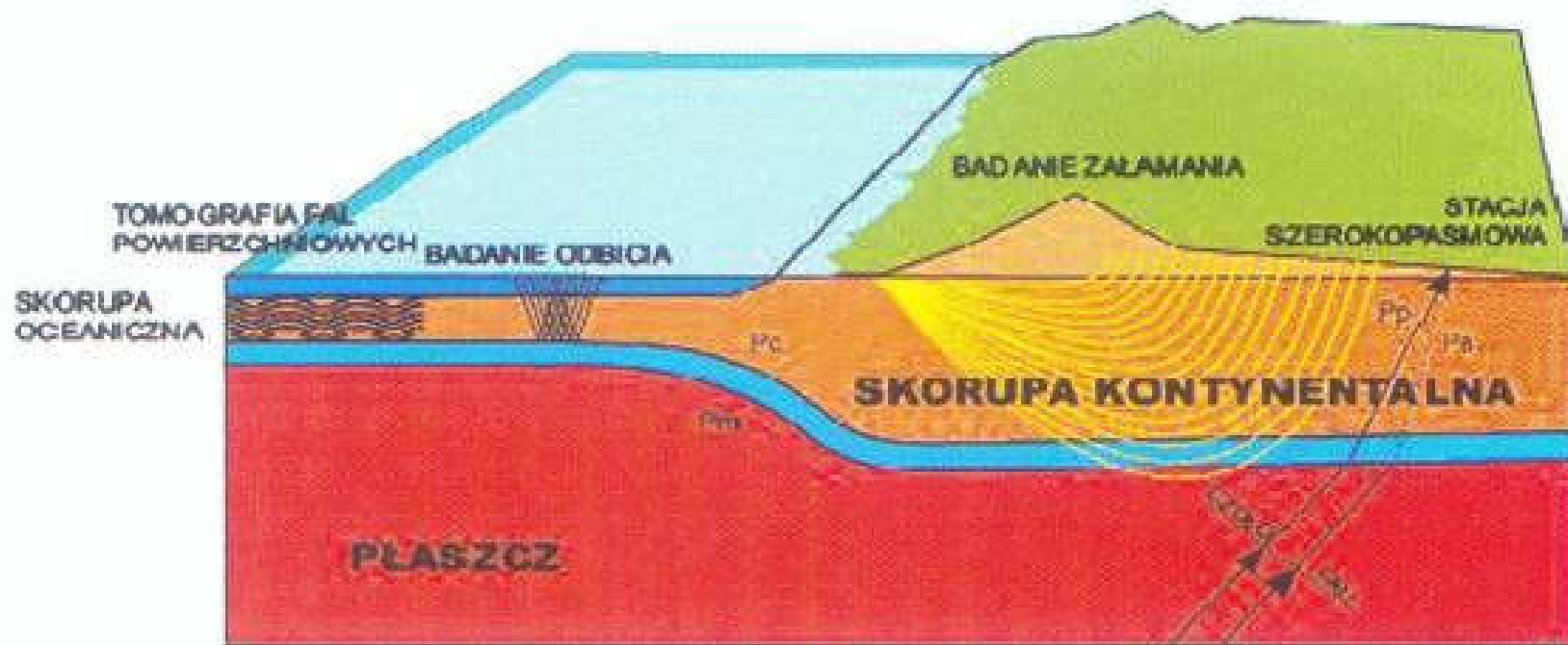
- Sejsmologia dostarczyła podstawowych danych o budowie wnętrza Ziemi. Badane jest rozchodzenie się fal – transmisja, odbicie, załamanie – dochodzących z jednego źródła do wielu innych punktów na całym globie.
- W ognisku trzęsienia Ziemi generowane są fale dwojakego rodzaju: fale podłużne – szybsze, typu P (od łac. primae), rozchodzą się one we wszystkich ośrodkach (gazach, cieczach, ciałach stałych), a w powietrzu występują w formie fal dźwiękowych stąd prędkości ich rozchodzenia się są typowe dla tych fal – rzędu kilometrów na sekundę w typowych skałach.

I fale poprzeczne, wolniejsze, zwane falami S (łac. secundae). Fale te nie mogą podróżować przez stopioną część zewnętrznego jądra Ziemi. Fale typu S rozchodzą się tylko w ciałach stałych, a ich prędkość jest blisko dwukrotnie mniejsza niż fal podłużnych.



Dopiero na końcu dochodzi właściwe „trzęsienie ziemi”, czyli fale deformujące powierzchnię ziemi, powodujące zniszczenia.

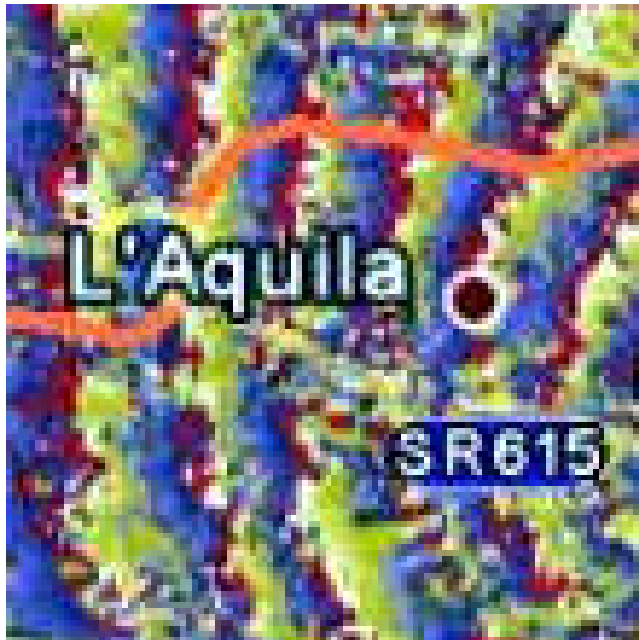
Jak badamy strukturę wewnętrzną Ziemi



Rys. 3. Odbicie, załamanie i ogniskowanie fal sejsmicznych rozchodzących się na powierzchni i przychodzących z głębi Ziemi (rys. K. Konieczna)

Podstawy analizy sejsmograficznej: odbicie, ogniskowanie, załamanie fal

Obserwacja fal „trzęsienia ziemi” z kosmosu (ESA)



L'Aquila Earthquake - Italy

06 April 2009

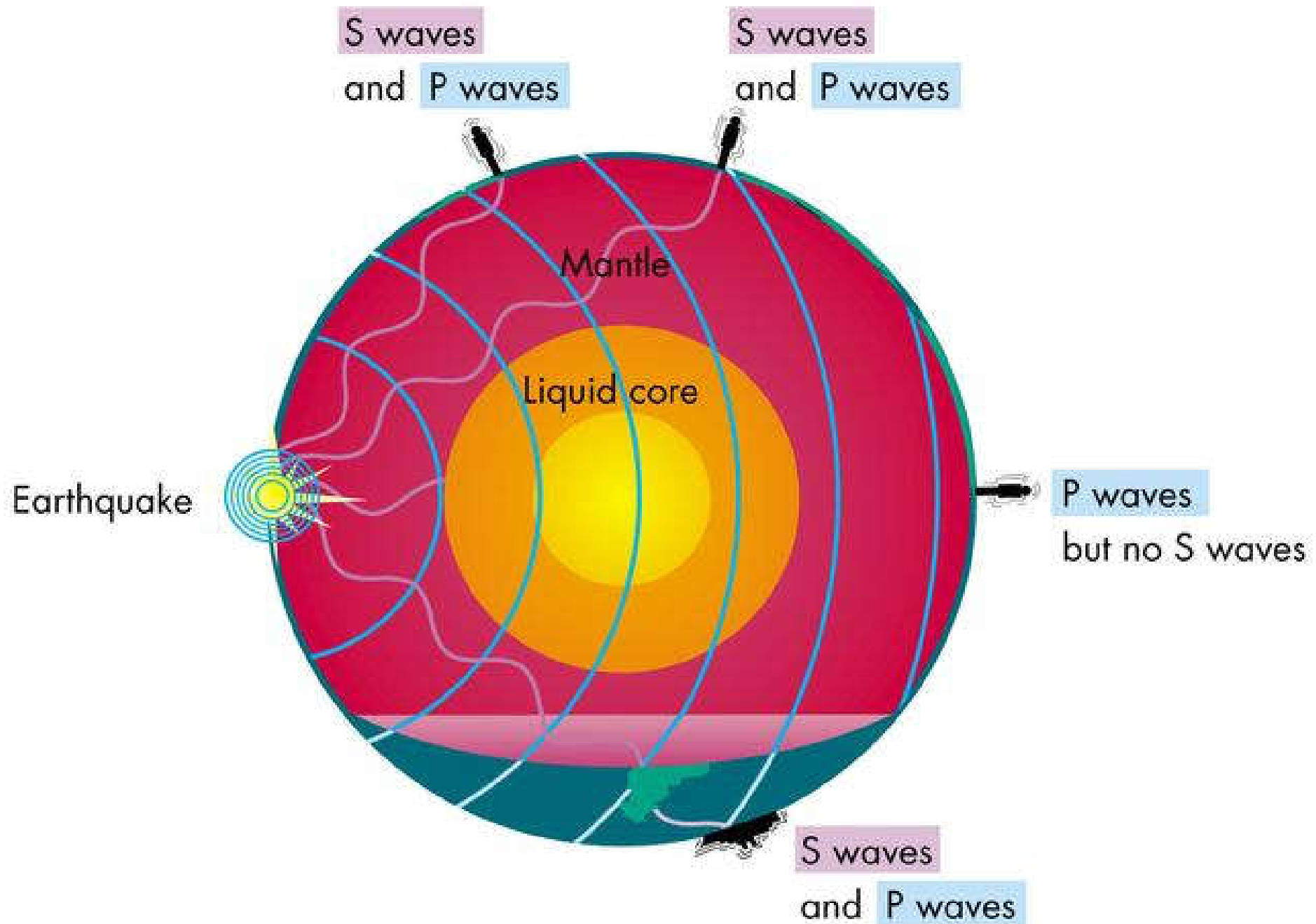
Bam Earthquake - Iran

23 December 2003

ESA makes freely available to the scientific community a dataset of SAR products (Envisat and ERS) corresponding to the earthquake of Aquila (Italy) which took place on 6 April 2009.

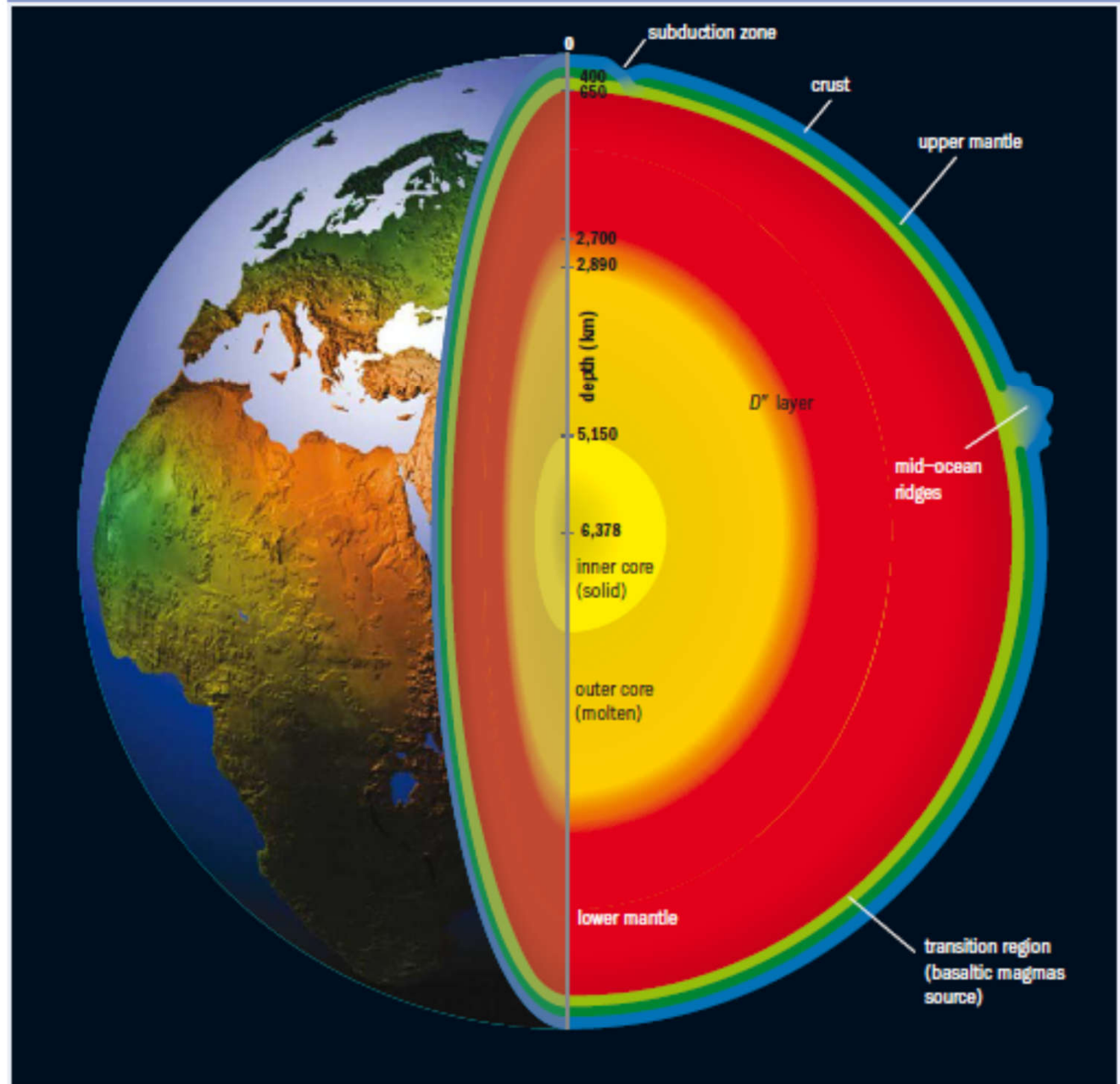
The ESA package also includes data from Third Party missions, in particular Japanese ALOS data.

✓ Fale S (tj. poprzeczne) nie przechodzą przez płynne jądro



Duży owoc awokado

Żelazowo-niklowe jądro rozciąga się mniej więcej do połowy promienia Ziemi



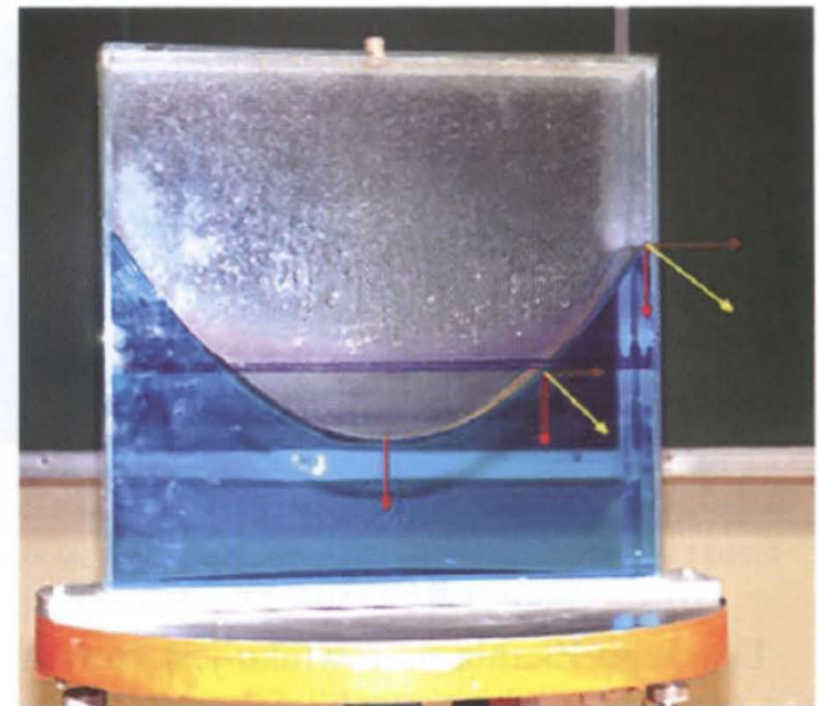
The core of the Earth is a solid, metallic ball (bright yellow) that further out becomes an ocean of white-hot molten iron–nickel alloy (orange) that is only slightly less viscous than water. Surrounding the core is a 300 km thick boundary (D'') region (not shown to scale here) that can be observed by a sudden change in the speed of seismic waves at that depth, while further out still lies the highly viscous lower mantle (red), which moves slowly via convection currents carrying heat outwards from the core. A molten transition region (light green) contains minerals that can melt and flow to the surface as magma through holes in the upper mantle (dark green) to form underwater mountain ranges known as mid-ocean ridges. Topping everything is the crust (blue), which consists of roughly equal proportions of mostly silicon, iron, oxygen and magnesium.

Jakiego kształtu jest „kula” ziemiska?

Ziemia



Fot. 3. a) Obrazowy model wirującej kuli (nieco nawet wydłużonej na biegunach) b) powolna rotacja Księżyca c) szybki ruch obrotowy Ziemi (fot. autor)



Fot. 4. Na wodę w wirującym akwarium działają dwie siły grawitacji (pionowo w dół) i siła odśrodkowa (poziomo). Im kropla znajduje się dalej od osi obrotu, tym większa siła odśrodkowa na nią działa. Powierzchnia wody jest w każdym punkcie prostopadła do wypadkowej tych dwóch sił: powierzchnia wody w wirującym prostopadłościennym akwarium to hiperbola (fot. autor)

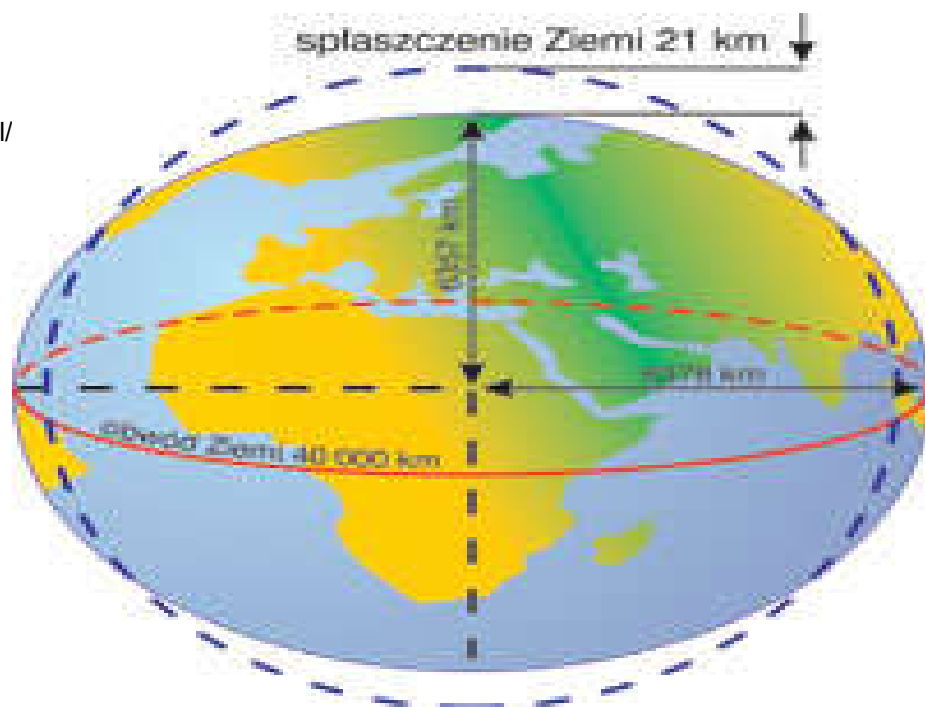
J. Chojnacka, G. Karwasz, *Jakiego kształtu jest „kula” ziemiska?*, Geografia w Szkole, 6/2011, str. 45

http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wyklady_Filmy/Kula_ziemska_JCh_GK_2011.pdf

✓ Pole grawitacyjne: kształt Ziemi

- ❑ „kula” ziemską jest spłaszczona na biegunach: różnica promienia równikowego i biegunowego to 21 km. Powodem jest siła odśrodkowa na wirującej Ziemi.
- ❑ W przybliżeniu więc, kształt Ziemi to elipsoida obrotowa
- ❑ Ale rzeczywisty kształt Ziemi odbiega od elipsoidy, z powodów różnicy gęstości materiału, z którego jest ona zbudowana (głównie różnic gęstości zewnętrznych warstw płaszczka i skorupy)
- ❑ Różnice te wynoszą max ± 100 m. Tak określona bryła – to geoida.
- ❑ Dla fizyków – geoida to powierzchnia *ekwipotencjalna* efektywnego potencjału (grawitacyjnego + siły odśrodkowej)

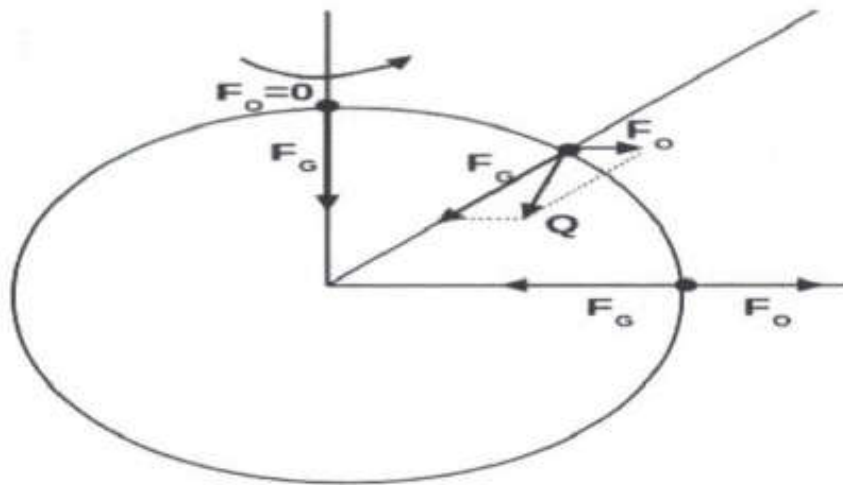
<http://www.mt.com.pl/-mapa-ziemi>



promień równikowy – 6378 km
promień biegunowy – 6356 km
splaszczczenie – 0,003

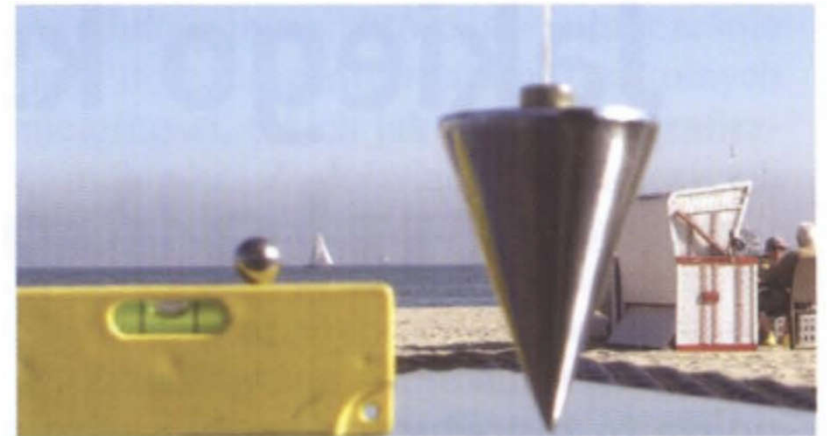
✓ Pole grawitacyjne: Ziemia jako elipsoida

- ❑ Na wirujący obiekt (Ziemię) działa siła odśrodkowa. To ona powoduje spłaszczenie Ziemi przy biegunach i jej wybrzuszenie „na równiku”.
- ❑ Przyspieszenie ziemskie na równiku jest mniejsze niż na biegunie, gdyż działa dodatkowo siła odśrodkowa.
- ❑ Kształt Ziemi jest taki, że w każdym jej punkcie siła ciężkości jest prostopadła do jej powierzchni, jak to pokazuje zdjęcie na prawo



$$g_{\min} = 9,78 \text{ m/s}^2, g_{\max} = 9,83 \text{ m/s}^2$$

Rys. 2. Elipsoida obrotowa jest „idealną” powierzchnią Ziemi: jest to taka powierzchnia, że siła wypadkowa Q (pochodząca od siły grawitacji F_g i siły odśrodkowej bezwładności F_o) jest do niej zawsze prostopadła. Proporcje siły odśrodkowej i spłaszczenia Ziemi są na tym rysunku znacznie wyolbrzymione



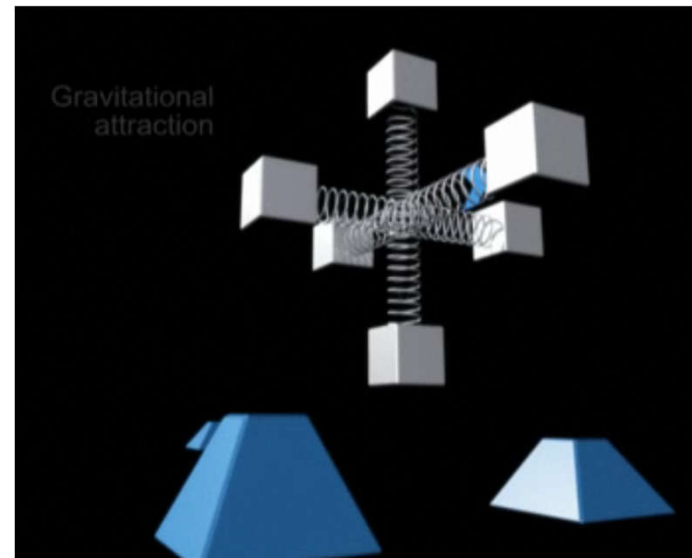
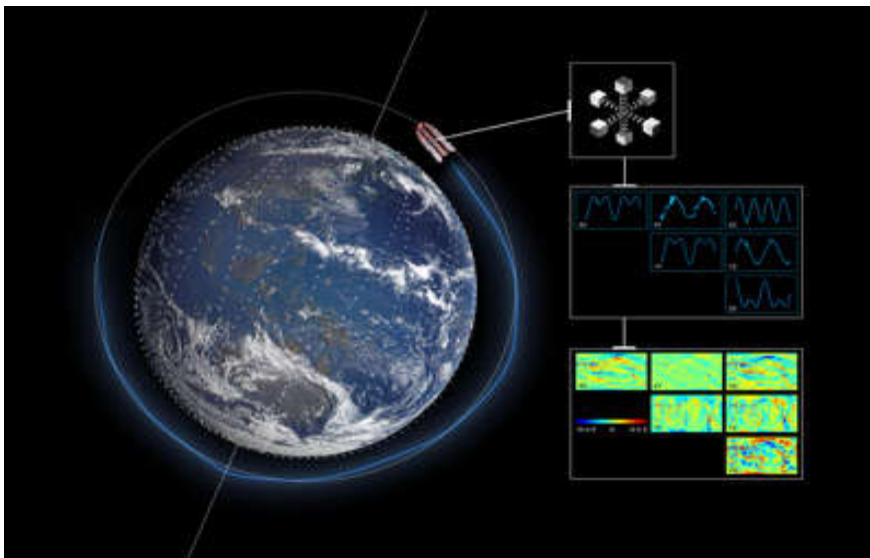
Fot. 2. Zawieszony „pion” wskazuje środek ciężkości Ziemi. Poziomica murarska wskazuje kierunek powierzchni morza, prostopadły do „pionu”. Kulka położona na poziomej powierzchni nie stacza się (fot. autor)

GOCE: efektywny 'potencjał' grawitacyjny



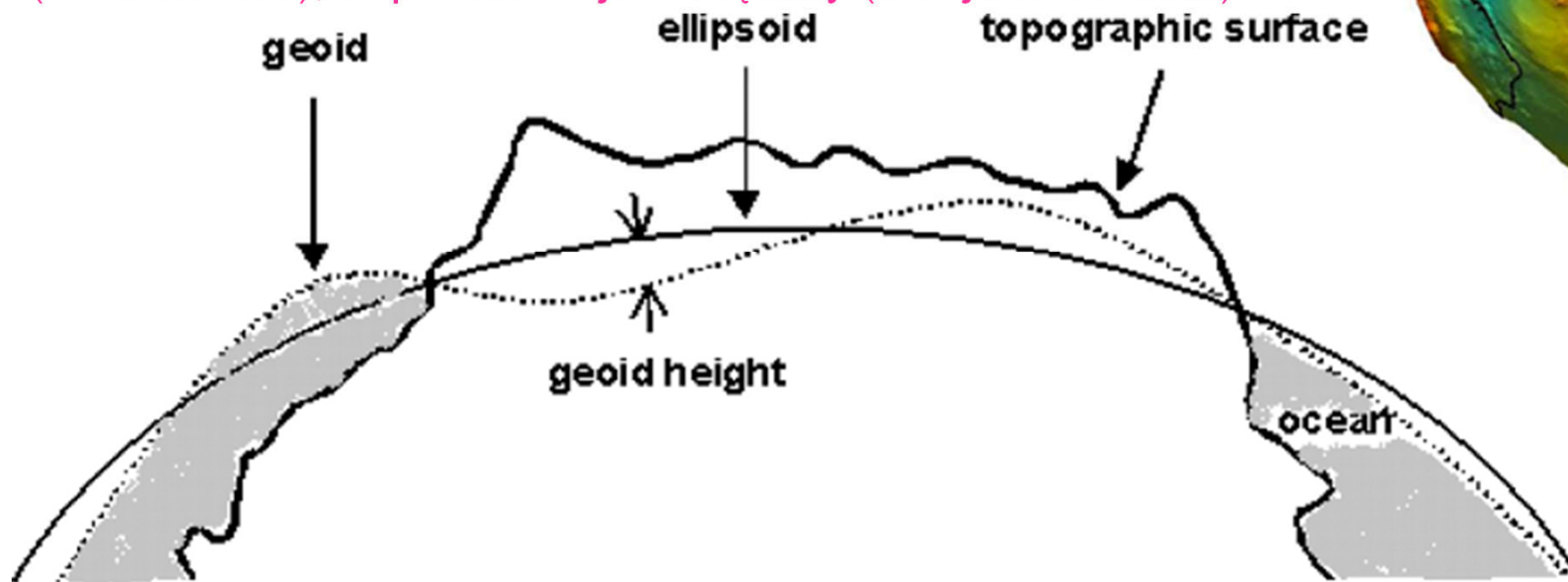
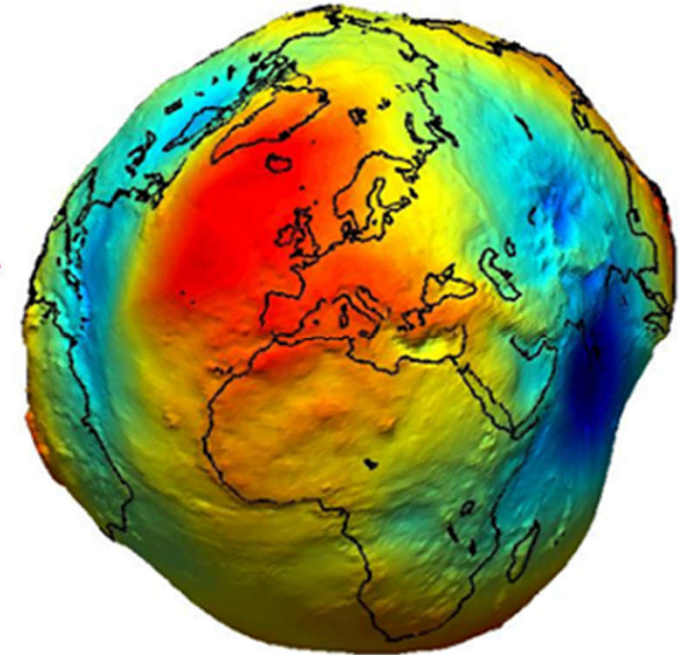
Sztuczny satelita GOCE latał na niskiej orbicie przez kilka lat i mierzył siłę grawitacji punkt po punkcie.

W ten sposób wyznaczono "fizyczny" kształt kuli ziemskiej, czyli geoidy



✓ Lokalne pole grawitacyjne Ziemi: geoida

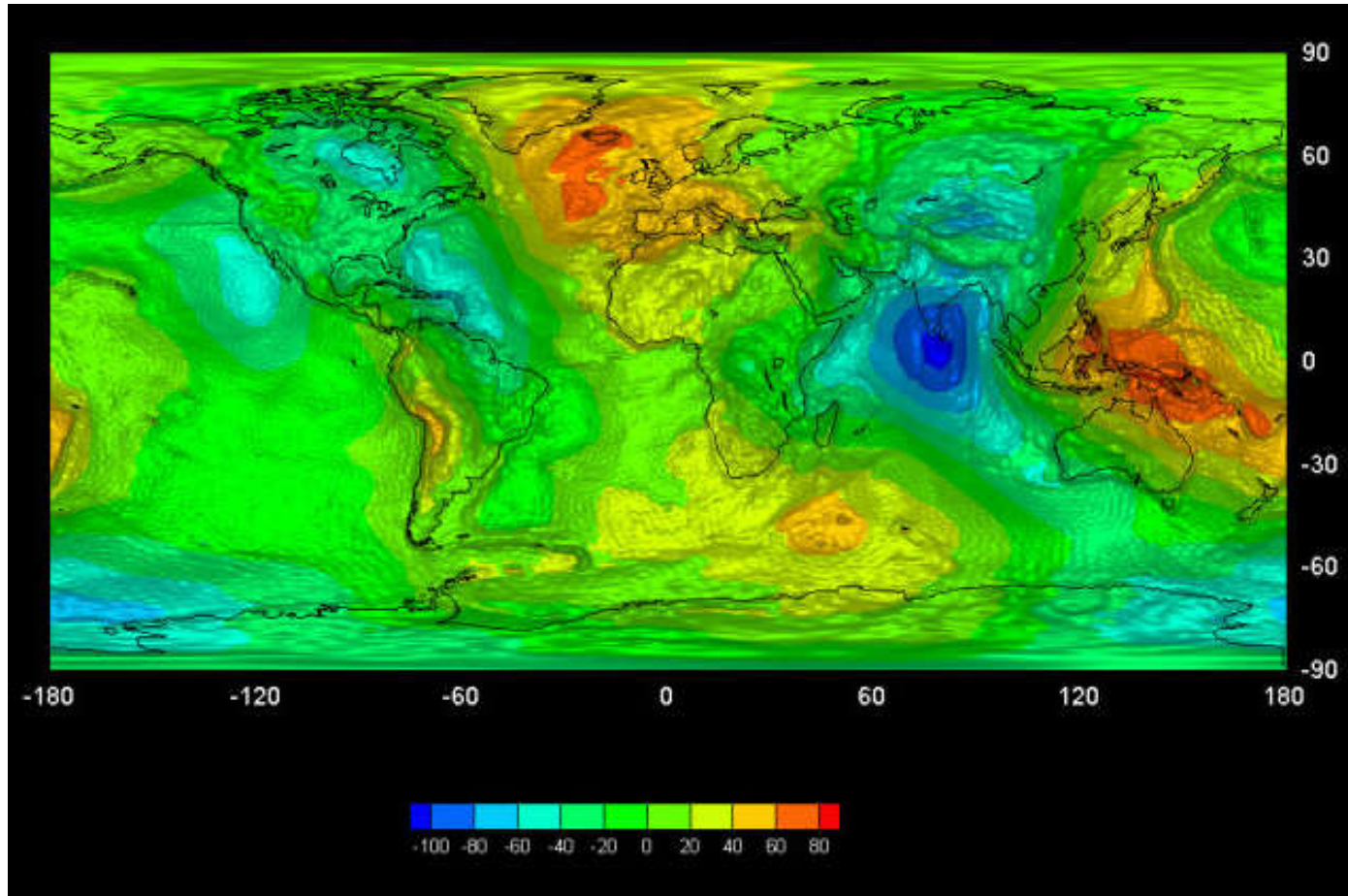
- Dowolnie daleko od równika i biegunów siła ciężkości nie jest skierowana wprost „do środka” Ziemi, ale prostopadłe do powierzchni geoidy – powierzchni **jednakowego potencjału sił ciężkości**, $V = \text{const}$
- Odchylenia geoidy od sferoidy wynoszą mniej niż ± 100 m.
- Przewyższenia geoidy nad elipsoidą odpowiadają większym gęstościom materiału we wnętrzu Ziemi, a obniżenia - obszarom o mniejszych gęstościach, zgodnie ze wzorem $V = GM/r$, gdzie G jest stałą grawitacji, M – masą powodującą siłę grawitacji, a r odległości od centrum Ziemi. Jeśli skały są ciężkie (wulkaniczne), to promień r jest większy (w rejonie Islandii)



J. Chojnacka, G. Karwasz, *Elipsoida ziemską*, Foton 114 (2011)

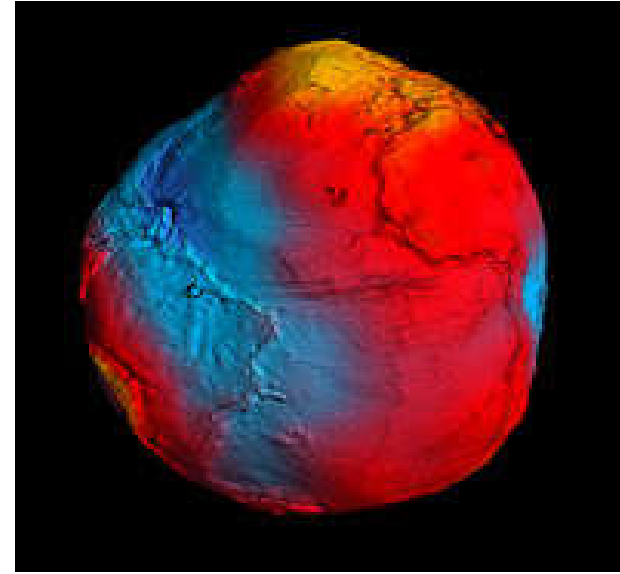
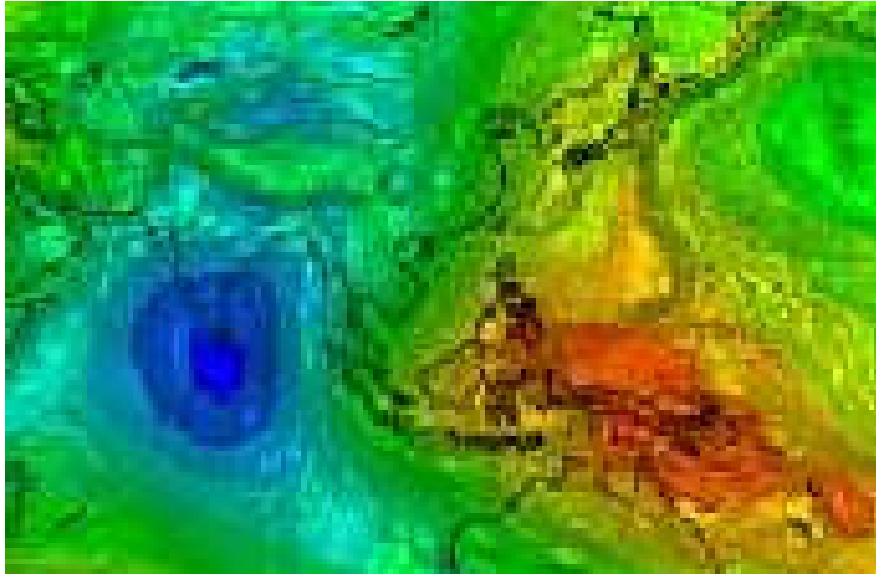
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2011/Elipsoida_2011.pdf

✓ Pole grawitacyjne Ziemi i jego wpływ na kształt Ziemi



- ❑ wyraźna depresja w Oceanie Indyjskim oraz w rejonie Himalajów odzwierciedla typ skał, z których w tym rejonie jest zbudowana wierzchnia warstwa skorupy – lekkie wapienie; przewyższenie w rejonie Indonezji i Islandii jest spowodowane obecnością cięższych skał magmowych, wypływających z płaszcza
- ❑ Ciekawostka: odkrycie we wschodniej Antarktydzie ogromnych rozmiarów krateru, Wilkes Land, o średnicy blisko 500 km, ukrytego pod pokrywą lodową o grubości od 2 do 3 km, pozwoliło rzucić światło na katastrofę planetarną, do której doszło pod koniec okresu Permu tj. 245 – 250 mln lat temu.

Skąd bierze się różnica między elipsoidą a geoidą?



Powierzchnia geoidy w rejonie Himalajów znajduje się poniżej elipsoidy! Dlaczego?

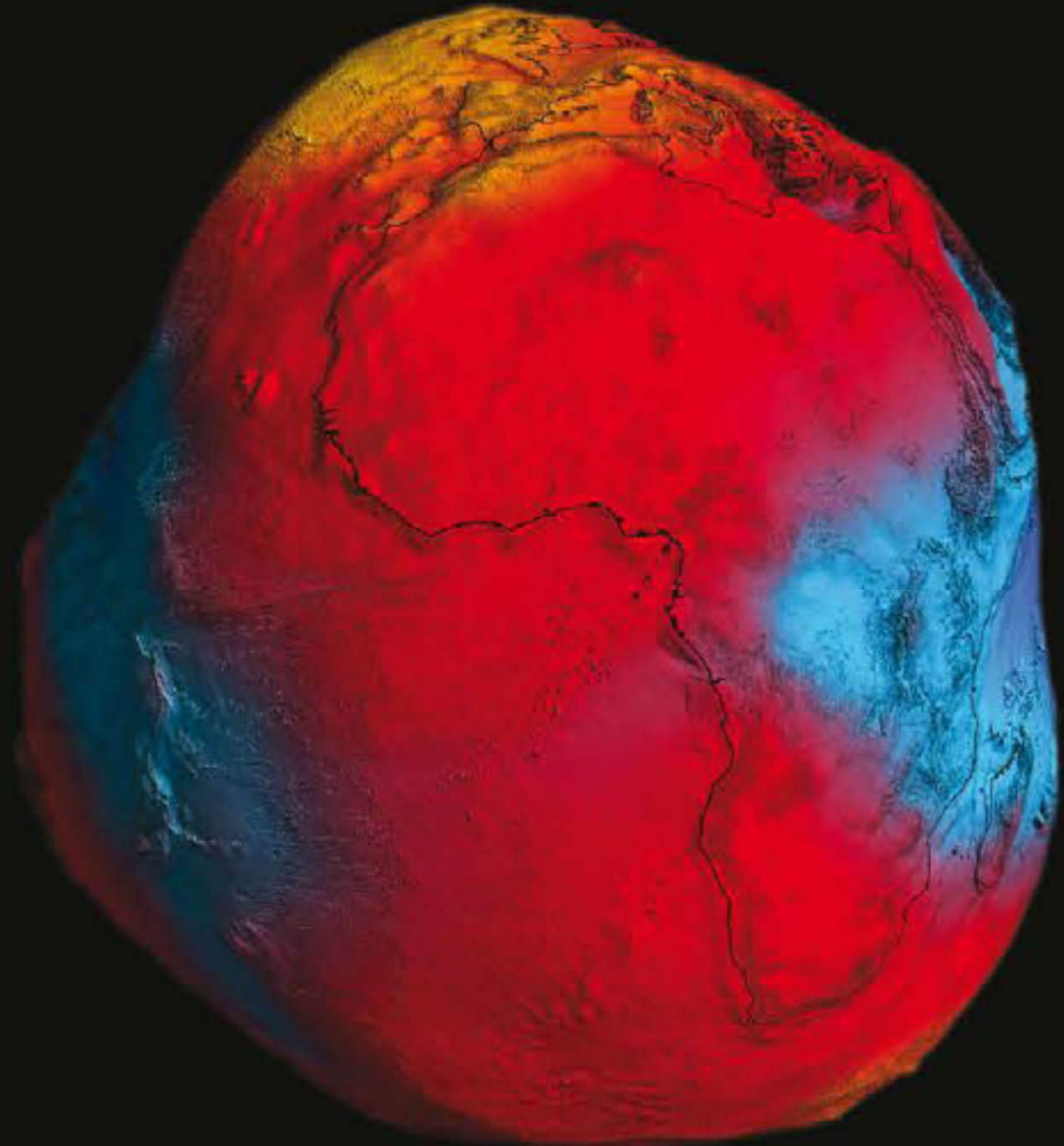
Potencjał grawitacyjny: $V=GM/r$,
gdzie M jest masą powodującą siłę grawitacji.

Himalaje, bardzo wysokie góry, składają się z lekkich skał (wapieni)

Mniejsza masa $M \rightarrow$ mniejszy promień r , tak aby $V=\text{const}$

Jakiego kształtu jest „kula” ziemiska (geoida)?

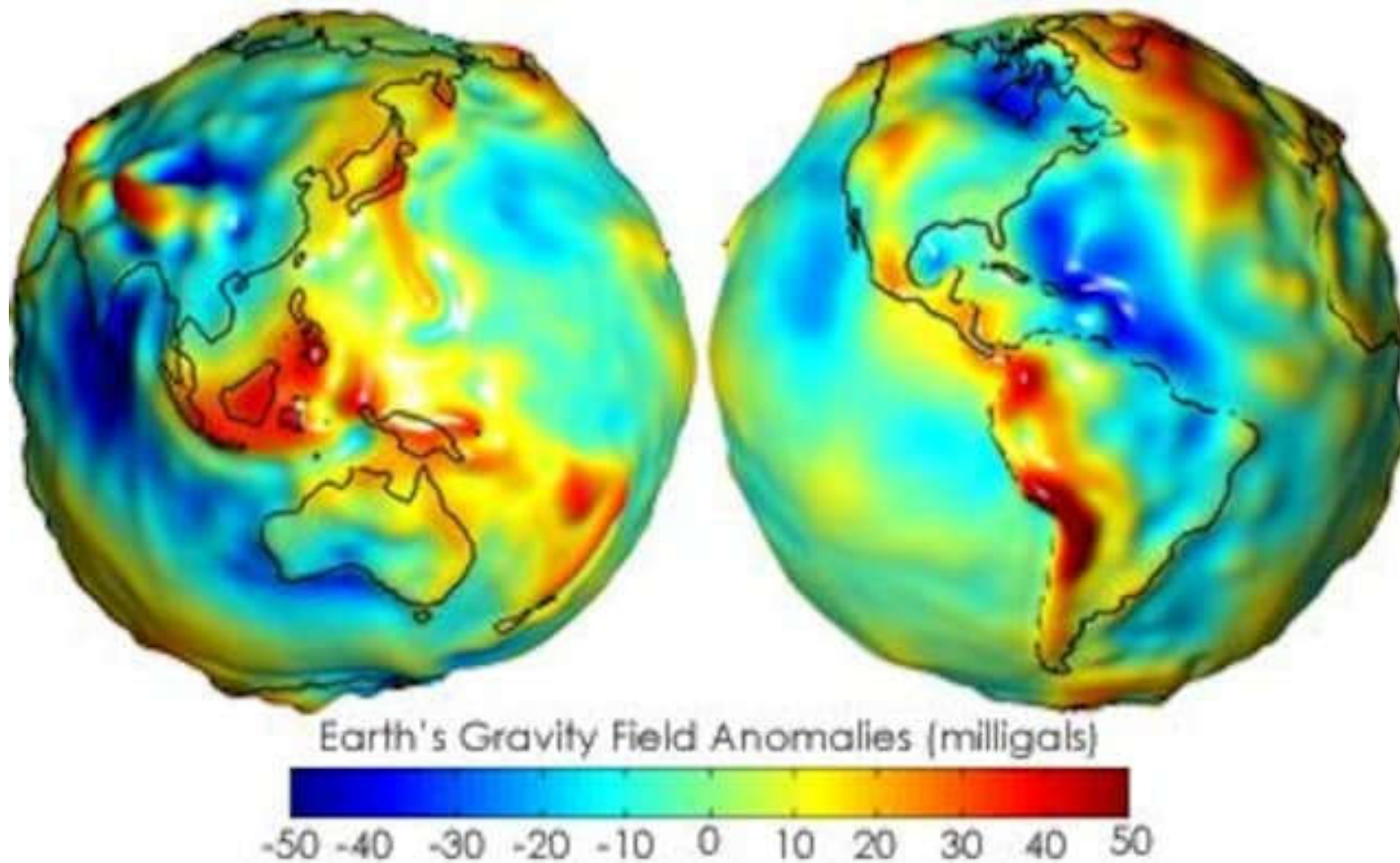
On the pull This peculiar-looking image is the geoid – the Earth’s surface of equal gravity potential. The sea surface would be this shape if the oceans were at rest with no tides or currents. Using this as a reference – the most precise geoid yet – changes in mass distribution can be measured using complementary techniques that measure variations of the gravity field with time. Changes in the geoid could be used to detect depleting groundwater supplies, melting of the ice sheets or the flow of the Earth’s mantle. The data for this image were collected from March 2009 until March 2011 by the European Space Agency’s Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE).



ESA/HPF/DLR

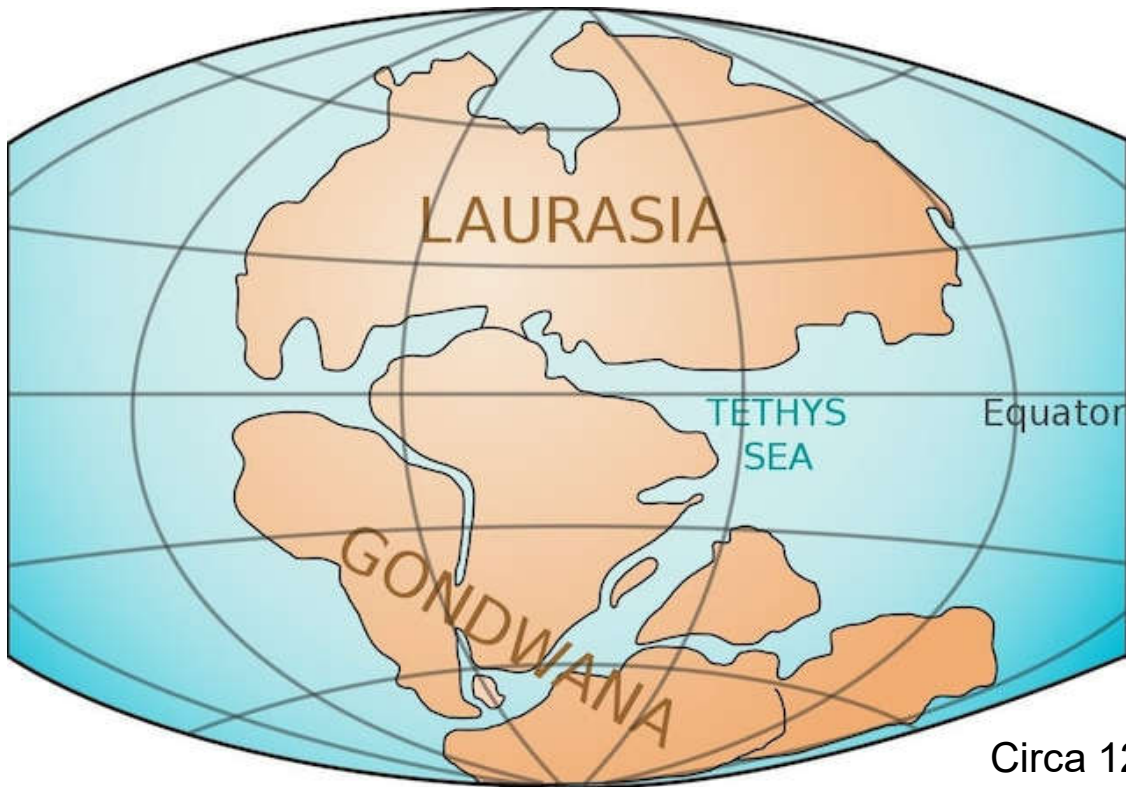
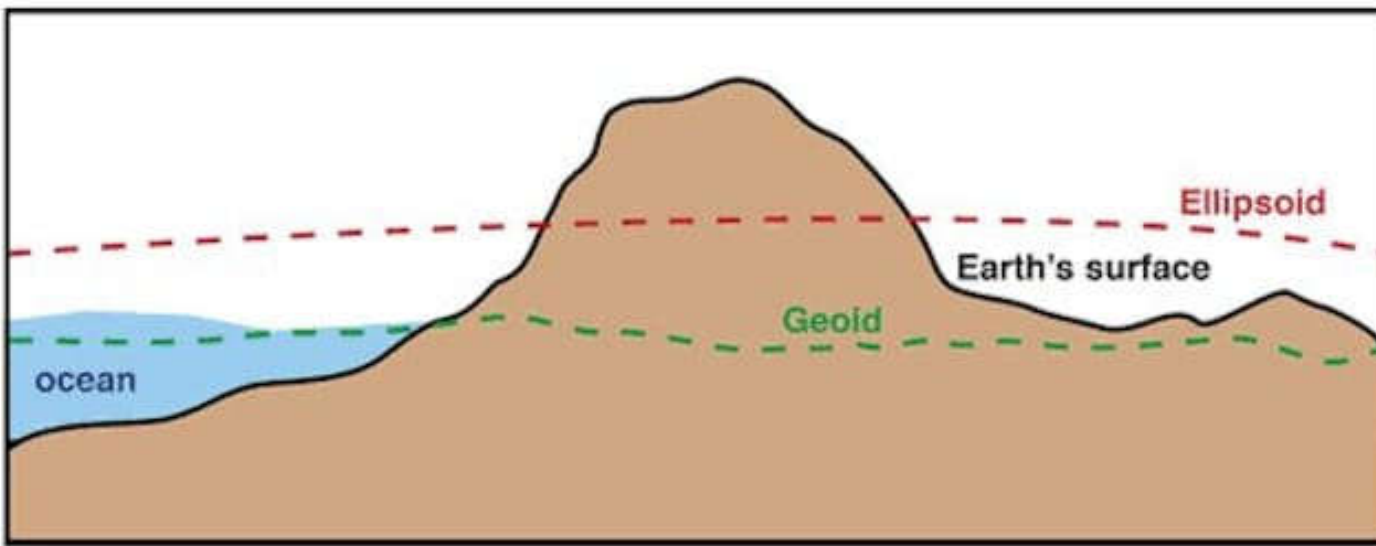
Physics World: mapa zrobiona z kilku-cm dokładnością przez satelitę GOCE

La forma della Terra



<https://www.geopop.it/svelate-le-cause-del-grande-buco-gravitazionale-nelloceano-indiano/>

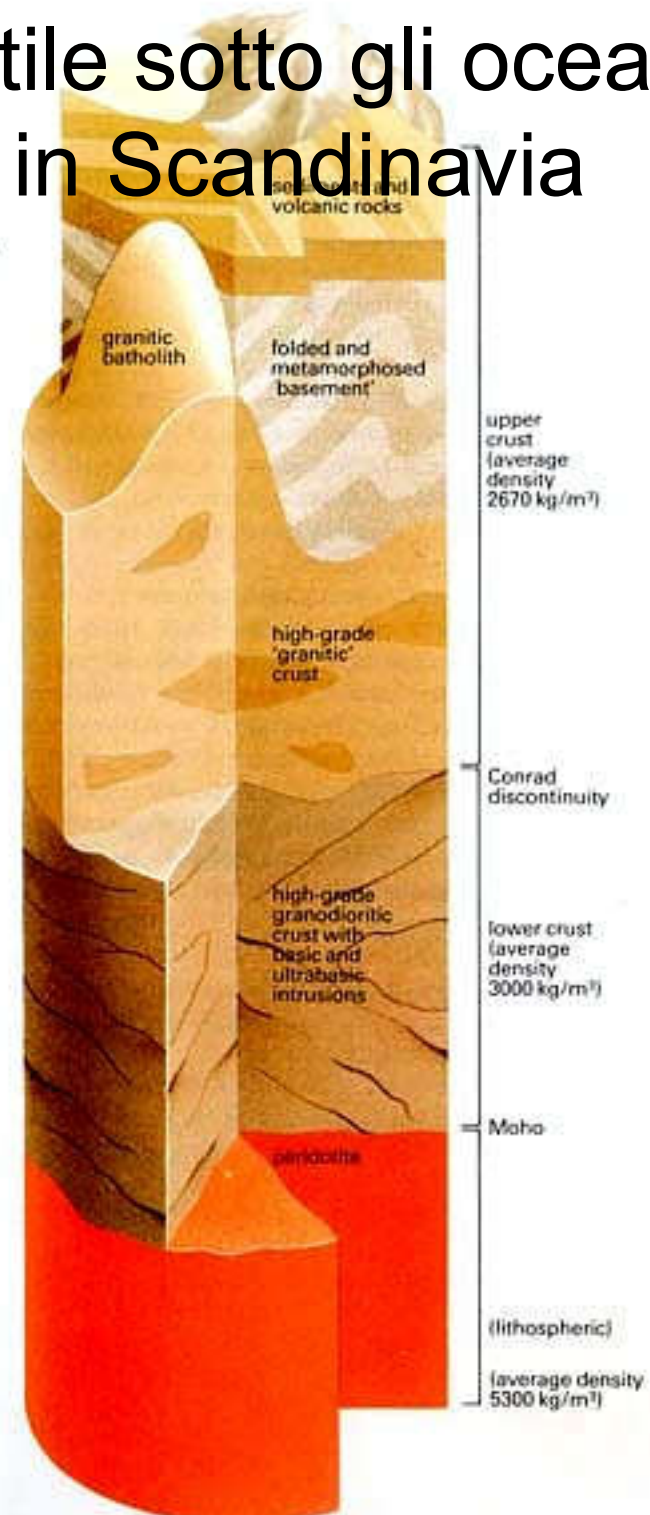
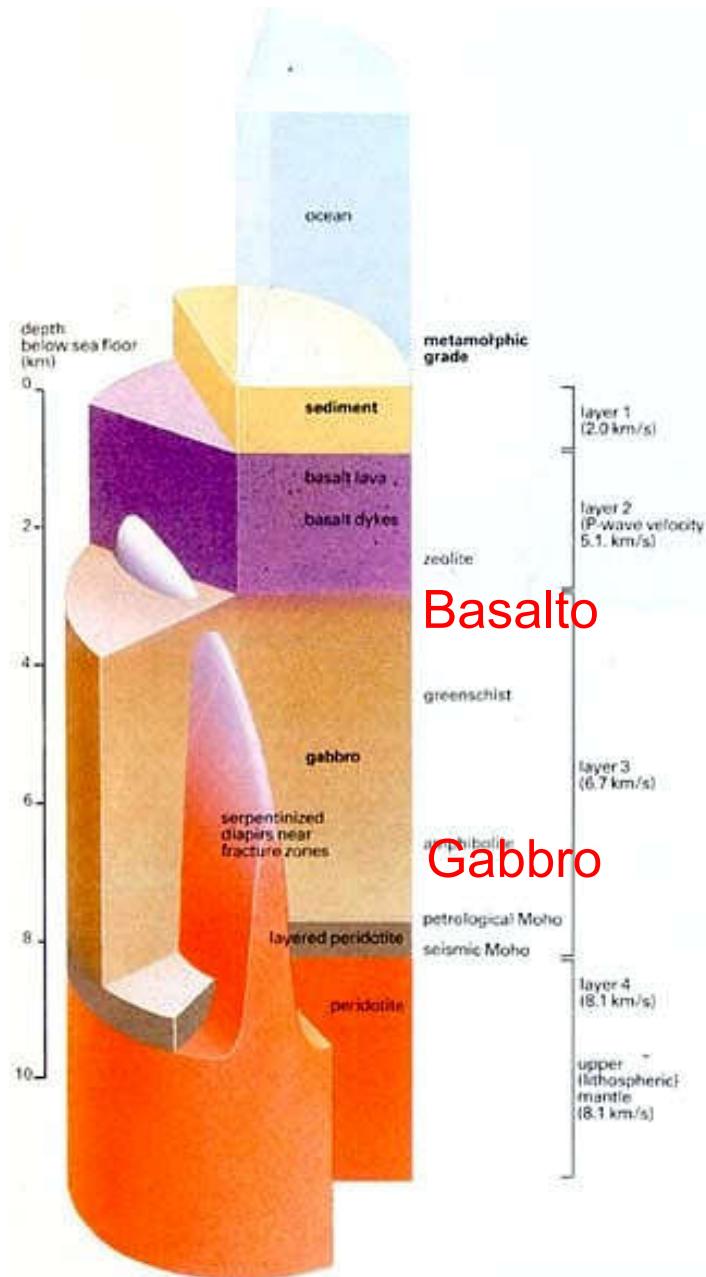
La forma della Terra



Circa 120 milioni di anni fa, l'India è migrata verso nord, determinando lo sprofondamento della Tetide.

Credit: Lennart Kudling, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons continua su:

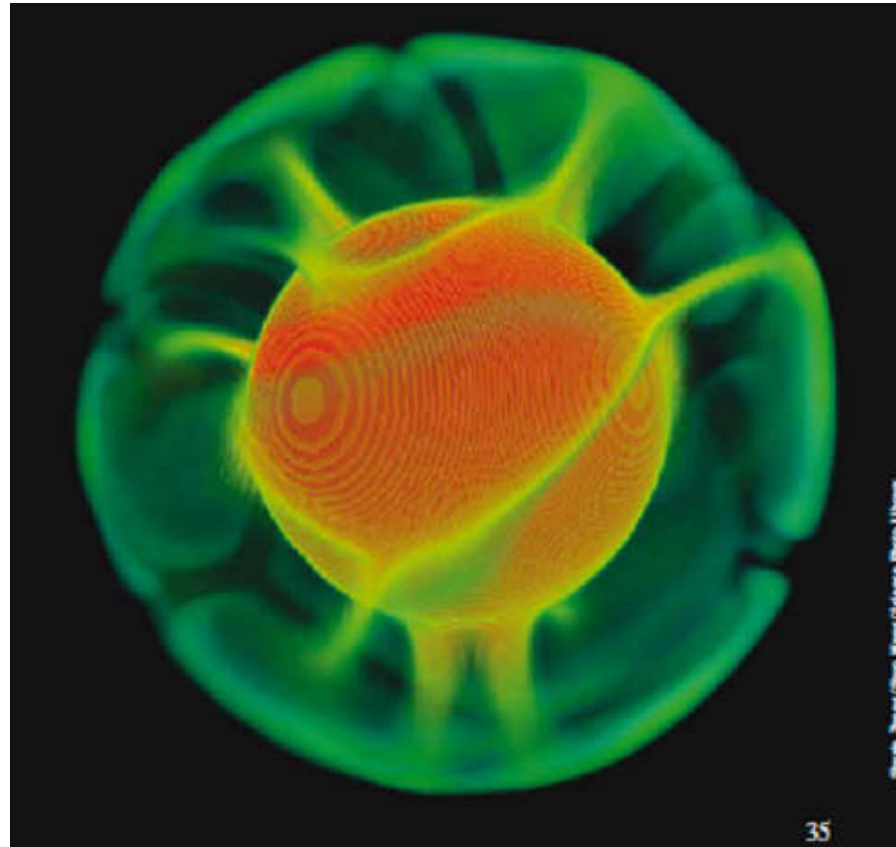
La crosta terrestre è molto sottile sotto gli oceani, e più spessa per esempio in Scandinavia



Jaka jest przyczyna tych prądów konwekcyjnych?

Wypływ ciepła:

- ^{238}U : 8 TW (10^{15} W)
- ^{232}Th : 8 TW
- ^{40}K : 4 TW
- ciepło stygnięcia: 20 TW
- Globalna „produkcja” energii elektrycznej: 10 TW



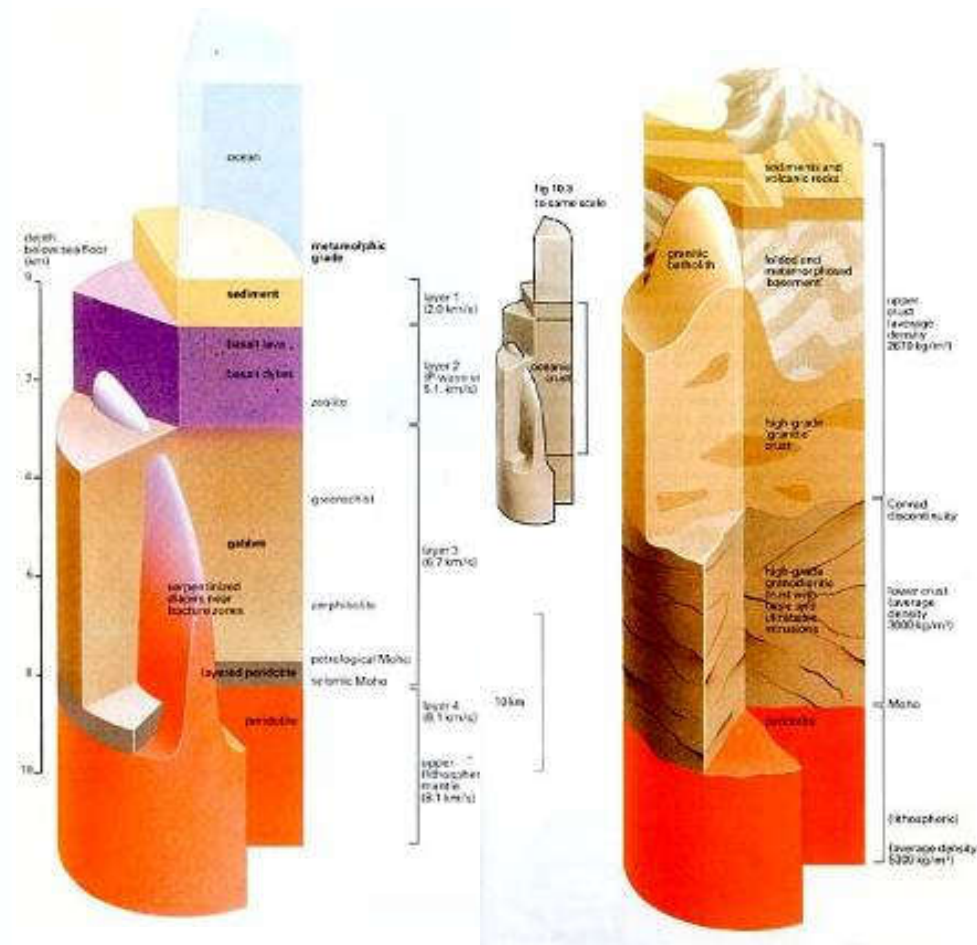
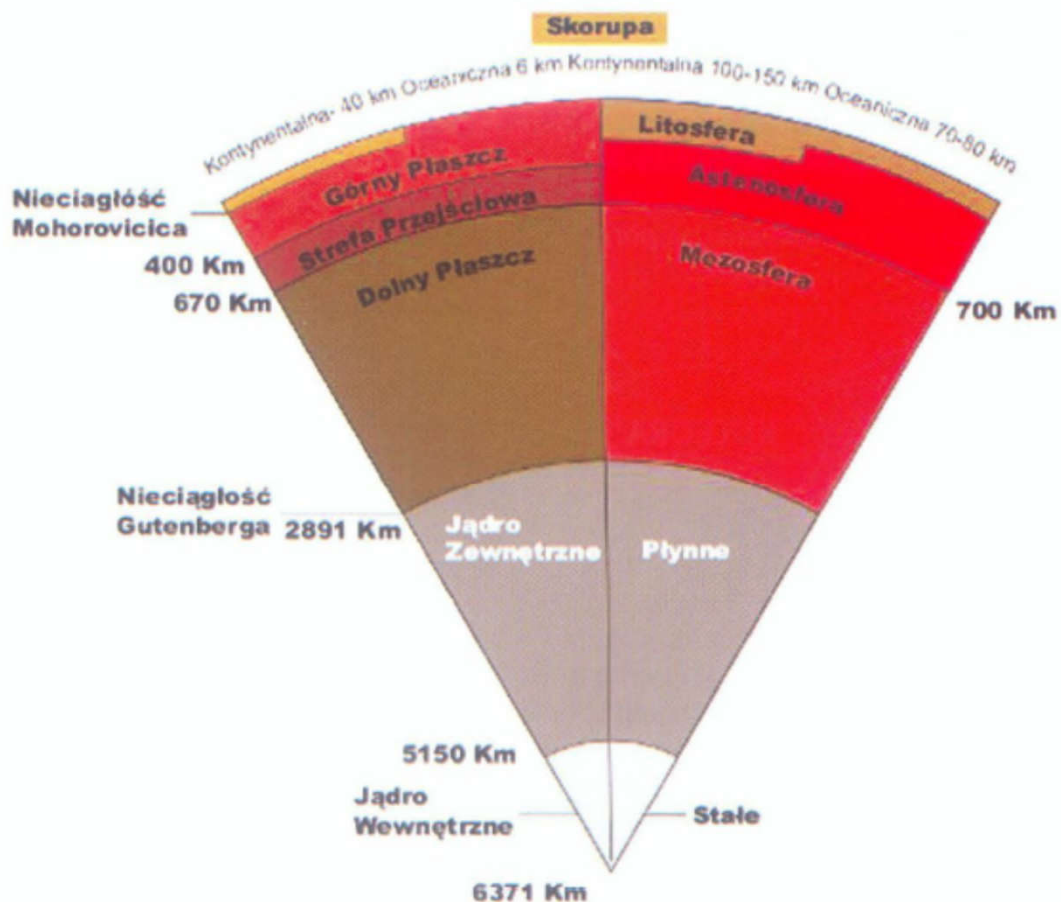
Periodic Table of the Elements

State of matter (color of name)
 GAS LIQUID SOLID UNKNOWN

Subcategory in the metal-metalloid-nonmetal trend (color of background)
 ■ Alkali metals ■ Lanthanides ■ Metalloids ■ Unknown chemical properties
 ■ Alkaline earth metals ■ Actinides ■ Reactive nonmetals
 ■ Transition metals ■ Post-transition metals ■ Noble gases

1 IA H Hydrogen 1.008 1																	18 VIIIA He Helium 4.0026 2
3 Li Lithium 6.94 3	4 IIA Be Beryllium 9.012 4											13 IIIA B Boron 10.81 5	14 IVA C Carbon 12.01 6	15 VA N Nitrogen 14.007 7	16 VIA O Oxygen 15.999 8	17 VIIA F Fluorine 18.998 9	18 VIIIA Ne Neon 20.180 10
11 Na Sodium 22.98976928 11	12 IIA Mg Magnesium 24.304 12	3 IIIB Sc Scandium 44.955910 21	4 IVB Ti Titanium 47.88 22	5 VB V Vanadium 50.9415 23	6 VIB Cr Chromium 51.9961 24	7 VIIB Mn Manganese 54.938044 25	8 VIIIB Fe Iron 55.845 26	9 VIIIB Co Cobalt 58.933 27	10 VIIIB Ni Nickel 58.693 28	11 IB Cu Copper 63.546 29	12 IIB Zn Zinc 65.38 30	13 Ga Gallium 69.723 31	14 Ge Germanium 72.630 32	15 As Arsenic 74.9216 33	16 Se Selenium 78.9718 34	17 Br Bromine 79.904 35	18 Kr Krypton 83.798 36
37 Rb Rubidium 85.4678 37	38 Sr Strontium 87.62 38	39 Y Yttrium 88.90584 39	40 Zr Zirconium 91.224 40	41 Nb Niobium 92.90637 41	42 Mo Molybdenum 95.94 42	43 Tc Technetium 98 43	44 Ru Ruthenium 101.07 44	45 Rh Rhodium 102.91 45	46 Pd Palladium 106.42 46	47 Ag Silver 107.87 47	48 Cd Cadmium 112.41 48	49 In Indium 114.82 49	50 Sn Tin 118.710 50	51 Sb Antimony 121.757 51	52 Te Tellurium 127.60 52	53 I Iodine 126.905 53	54 Xe Xenon 131.29 54
55 Cs Cesium 132.90545196 55	56 Ba Barium 137.327 56	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49 72	73 Ta Tantalum 180.94788 73	74 W Tungsten 183.84 74	75 Re Rhenium 186.21 75	76 Os Osmium 190.23 76	77 Ir Iridium 192.22 77	78 Pt Platinum 195.08 78	79 Au Gold 196.967 79	80 Hg Mercury 200.59 80	81 Tl Thallium 204.38 81	82 Pb Lead 207.2 82	83 Bi Bismuth 208.98 83	84 Po Polonium 209 84	85 At Astatine 210 85	86 Rn Radon 222 86
87 Fr Francium 223 87	88 Ra Radium 226 88	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium 261 104	105 Db Dubnium 262 105	106 Sg Seaborgium 263 106	107 Bh Bohrium 264 107	108 Hs Hassium 271 108	109 Mt Meitnerium 276 109	110 Ds Darmstadtium 285 110	111 Rg Roentgenium 282 111	112 Cn Copernicium 285 112	113 Nh Nihonium 284 113	114 Fl Flerovium 289 114	115 Mc Moscovium 288 115	116 Lv Livermorium 293 116	117 Ts Tennessine 294 117	118 Og Oganesson 294 118
57 La Lanthanum 138.905 57	58 Ce Cerium 140.12 58	59 Pr Praseodymium 140.9076 59	60 Nd Neodymium 144.24 60	61 Pm Promethium 145 61	62 Sm Samarium 150.36 62	63 Eu Europium 151.964 63	64 Gd Gadolinium 157.25 64	65 Tb Terbium 158.925 65	66 Dy Dysprosium 162.50 66	67 Ho Holmium 164.930 67	68 Er Erbium 167.259 68	69 Tm Thulium 168.930 69	70 Yb Ytterbium 173.054 70	71 Lu Lutetium 174.967 71			
89 Ac Actinium 227 89	90 Th Thorium 232.04 90	91 Pa Protactinium 231.04 91	92 U Uranium 238.03 92	93 Np Neptunium 237 93	94 Pu Plutonium 244 94	95 Am Americium 243 95	96 Cm Curium 247 96	97 Bk Berkelium 247 97	98 Cf Californium 251 98	99 Es Einsteinium 252 99	100 Fm Fermium 257 100	101 Md Mendelevium 258 101	102 No Nobelium 259 102	103 Lr Lawrencium 260 103			

Skorupa, płaszcz, jądro,...



Rys. 1. Ziemia ma budowę warstwową. Poszczególne jej części różnią się znacznie nie tylko składem chemicznym, ale i np. gęstością (rys. K. Konieczna)

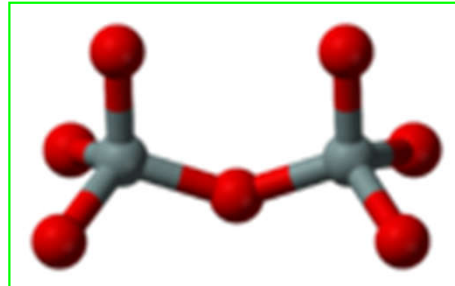
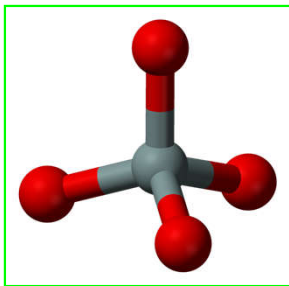
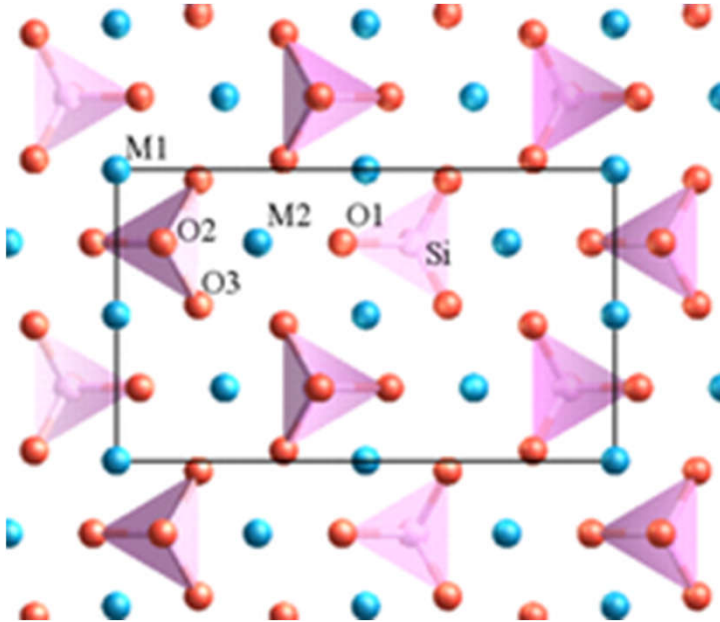
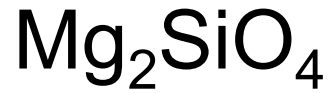
Dwie typologie przekroju Ziemi:

- Litosfera, astenosfera (półpłynna), mezosfera
- Skorupa, Płaszcz górny, dolny, jądro

Skorupa oceaniczna

kontynentalna

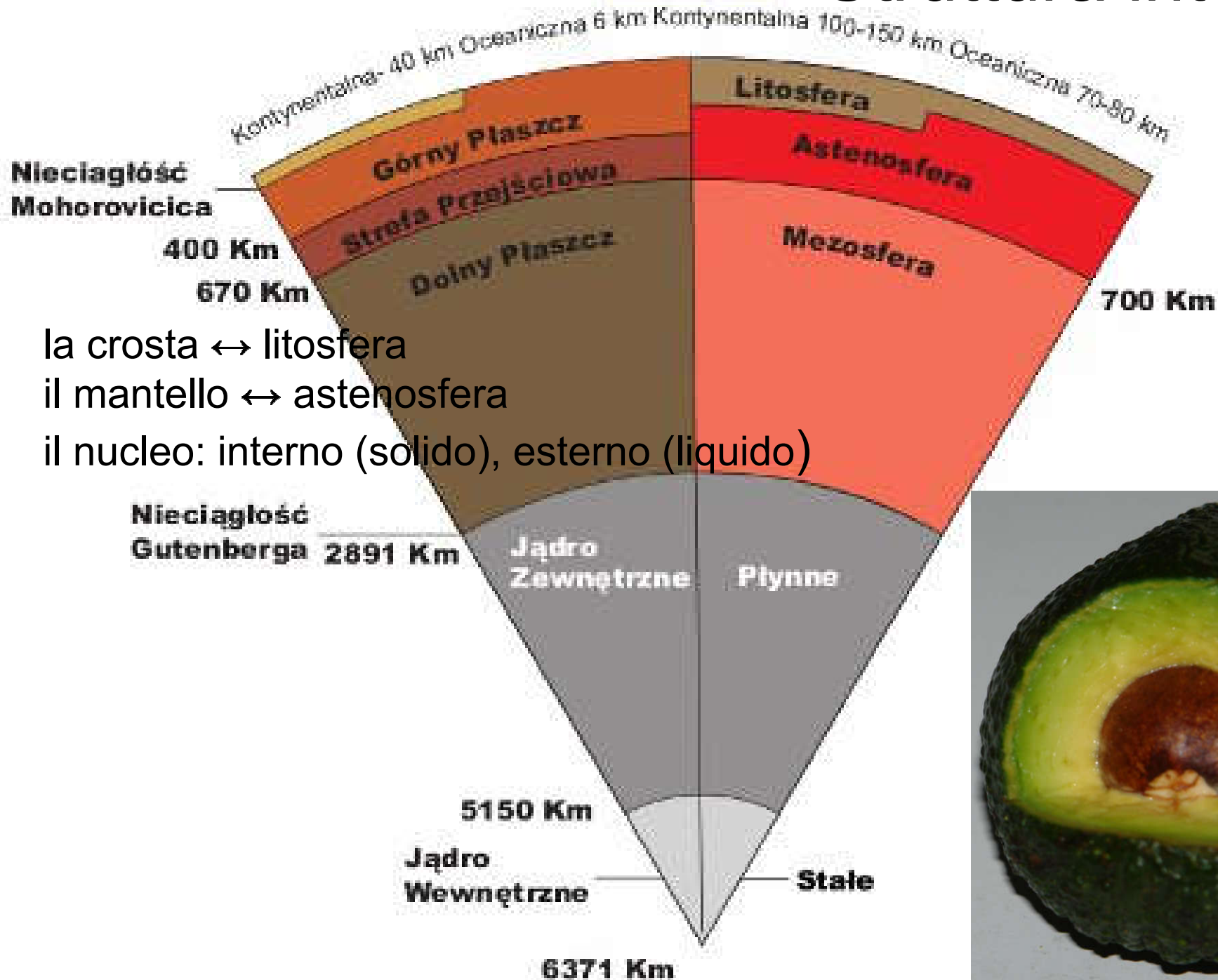
Quarzo, olivina etc.



Ogni materiale ha la sua temperatura (e pressione) di fusione

Struttura interna

Skorupa



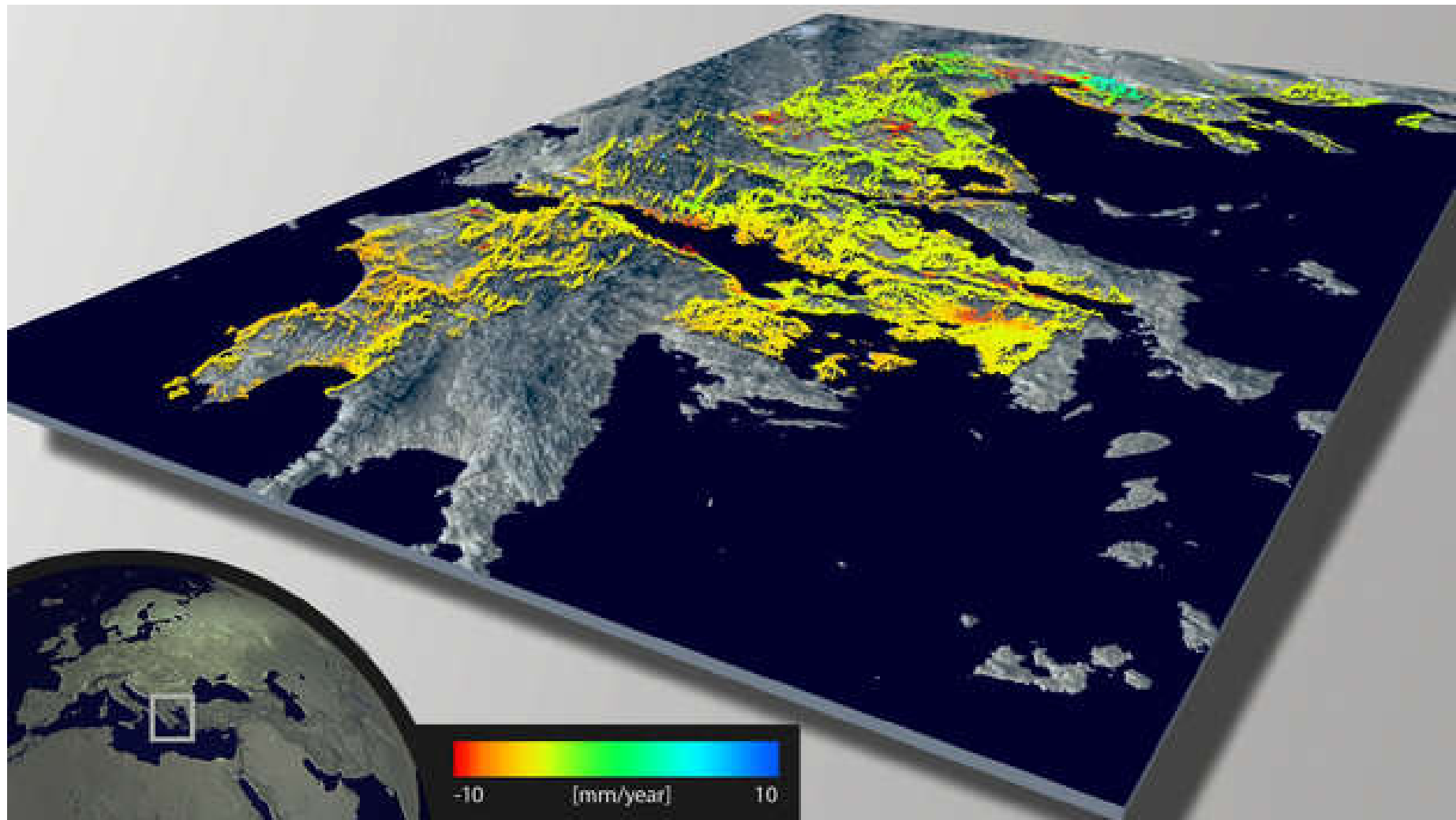
la crosta ↔ litosfera

il mantello ↔ astenosfera

il nucleo: interno (solido), esterno (liquido)

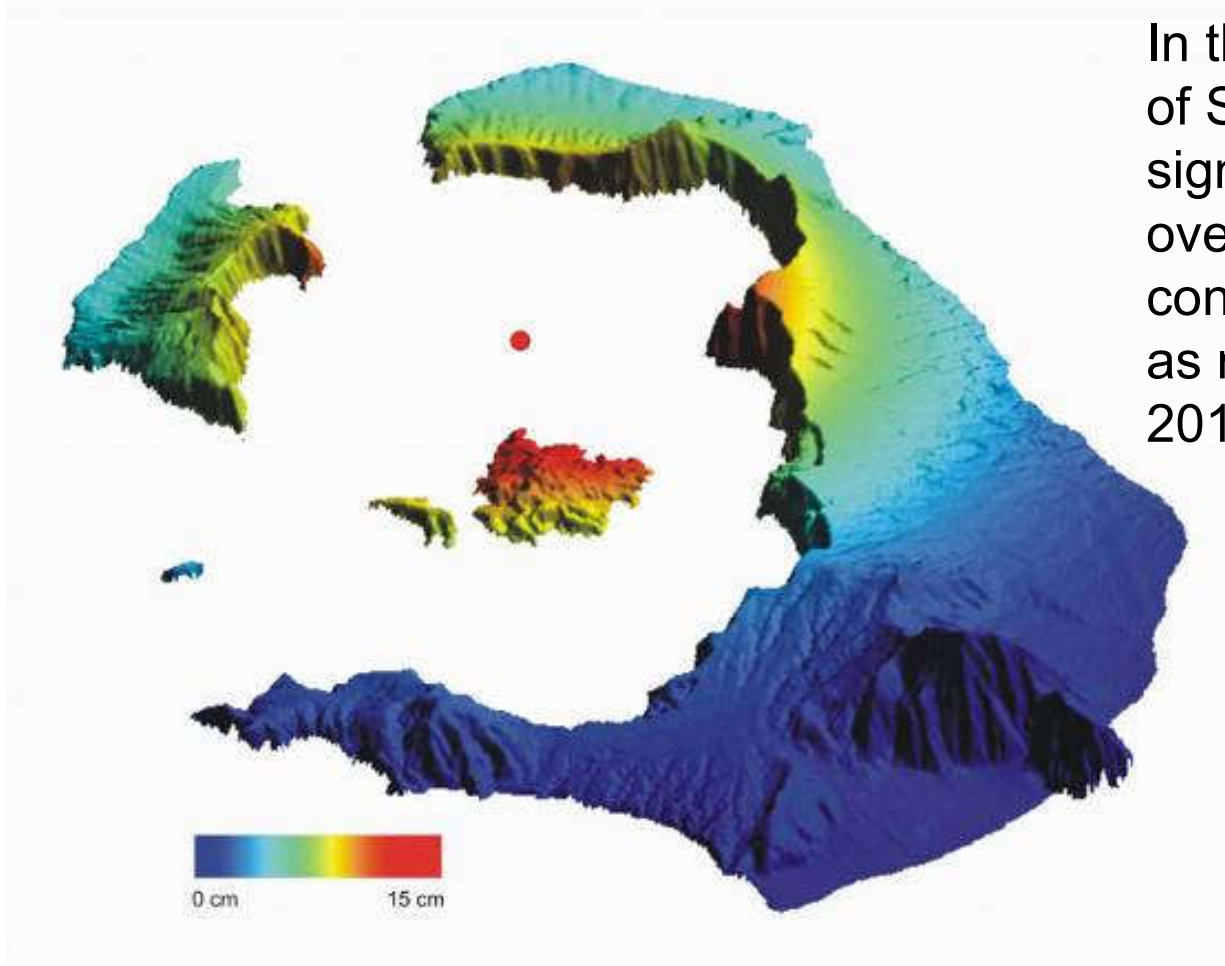


Zapaść (geologiczna) Grecji: 10 cm/rok



15 April 2013 A new data processor is creating maps of land deformation from satellite radar data over larger areas and with higher precision than ever before. These maps can be used to detect and monitor geological hazards.

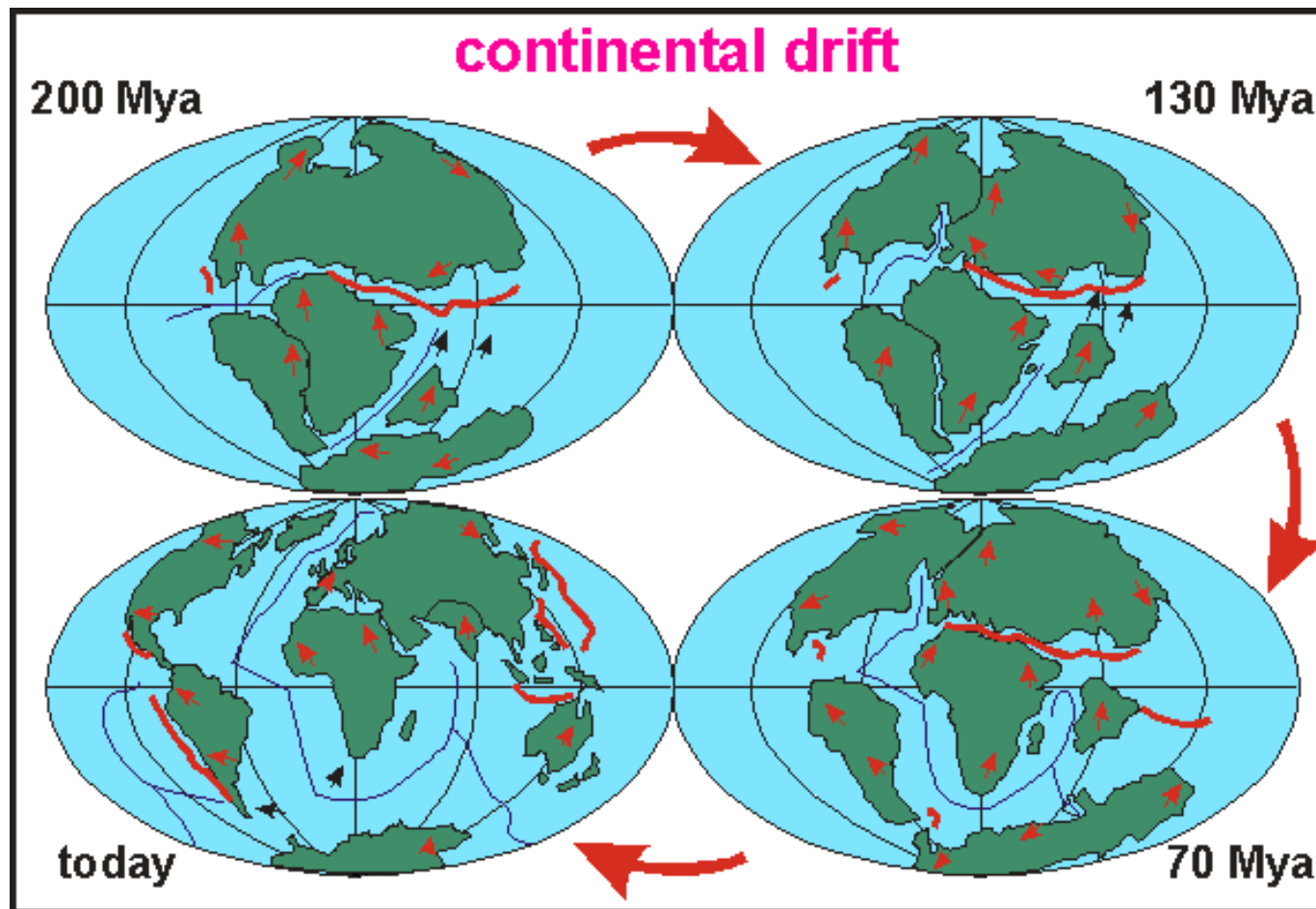
Czy Santorini ponownie wybuchnie?



In the south Aegean Sea, the islands of Santorini have been showing signs of unrest for the first time in over half a century. Satellite data confirm that the islands have risen as much as 14 cm since January 2011.

- >The Santorini volcano's last major explosive eruption was about 3600 years ago. This event formed a large crater, or caldera, which is now flooded by the sea.
- >The last eruption of the Kameni islands was in 1950. For the next 60 years, Santorini was quiet.
- >The Kameni islands grow, on average, by about a million cubic metres per year. But the satellite data show that the amount of molten rock that has arrived beneath Santorini over the 12-month period is the equivalent of 10–20 years' growth of the volcano

✓ Dryfujące kontynenty



❖ Jeszcze 200 mln lat temu wszystkie kontynenty stanowiły jedną masę, o nazwie Pangea (z greckiego pan, pas = całość; geo = ziemia).

❖ Podział na część północną, nazwaną Laurazją (Europa, Ameryka Północna i Azja), i południową, o nazwie Gondwana (Ameryka Południowa, Afryka, Indie, Antarktyda, Australia i Nowa Zelandia), rozpoczął się 200 milionów lat temu a Ameryka odplynęła od Europy i Afryki 60 mln lat temu (i nadal odplywa, z prędkością 10 cm/rok)

✓ Dryfujące kontynenty

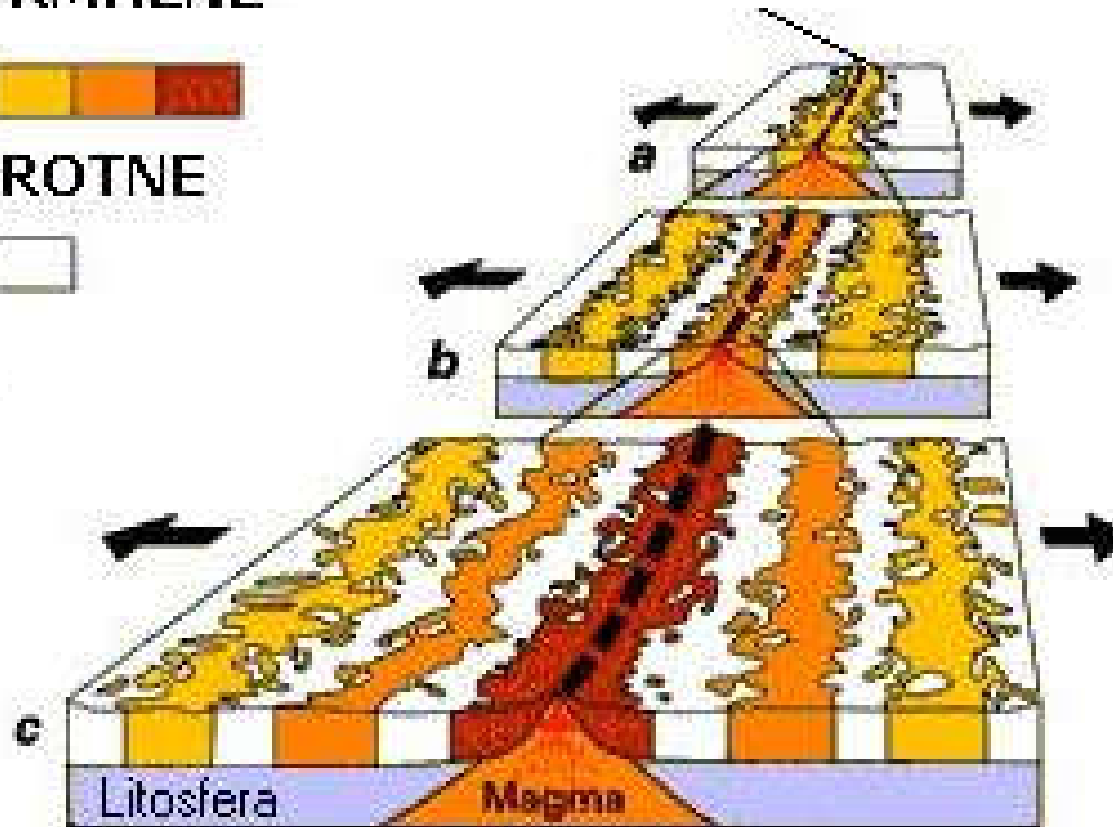
NAMAGNESOWANIE
NORMALNE



ODWROTNE



RYFT



Rozsuwanie się płyt amerykańskiej i Afrykańsko-Europejskiej powoduje powstanie „szwu” wzdłuż Atlantyku: ciągle z tych rejonów wypływa lava: **10 cm/rok**
Badając kierunek namagnesowania bazaltów, potrafimy wywnioskować o kierunku pola magnetycznego w przeszłości

Kontynenty, w ciągłym (co 300 mln lat) ruchu



Kontynenty zderzają się i odpływają co 300-500 ml lat. Przed Pangeą była Kolumbia (2 mld lat temu), potem Rodinia i Pannotia.

How supercontinents are born



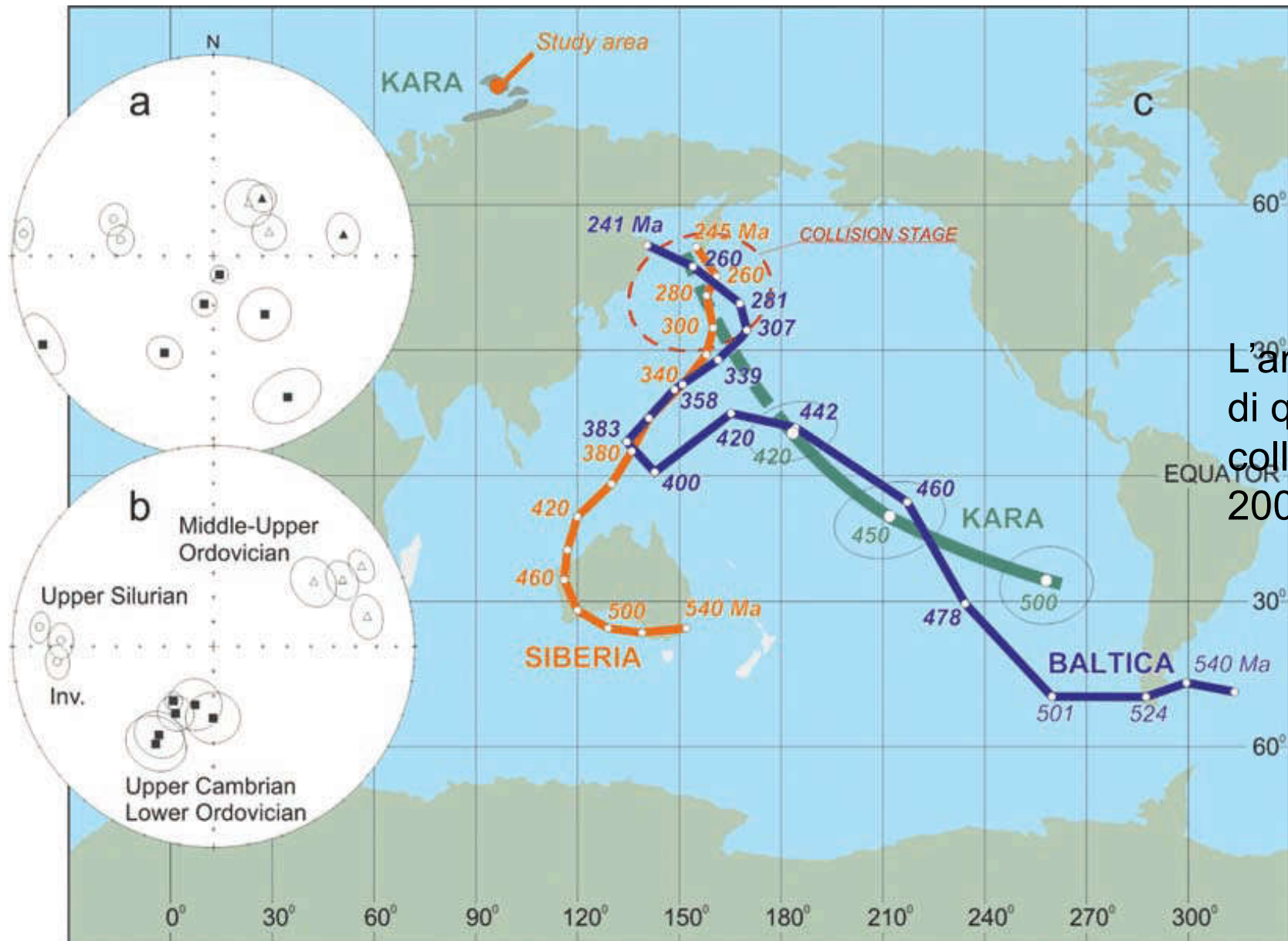
Merged Amasia: the next supercontinent.

Ameryka i Eurazja
stukną się razem
za 50 mln lat w rejonie
Bieguna Północnego

R Mitchell et al., *Nature*
continue to drift apart as they do today, with the Atlantic Ocean continuing to widen – eventually bringing together North America and Asia. In this “extroversion model”, the new supercontinent would be situated on the opposite side of the globe to its predecessor. The second idea is that the continents at some point do a U-turn and drift back towards their starting position. This “introversion model” relies on new subduction zones opening up that would allow the Atlantic oceanic crust to sink back beneath the continents, closing off the Atlantic Ocean and forming a new supercontinent in the same location as Pangaea.

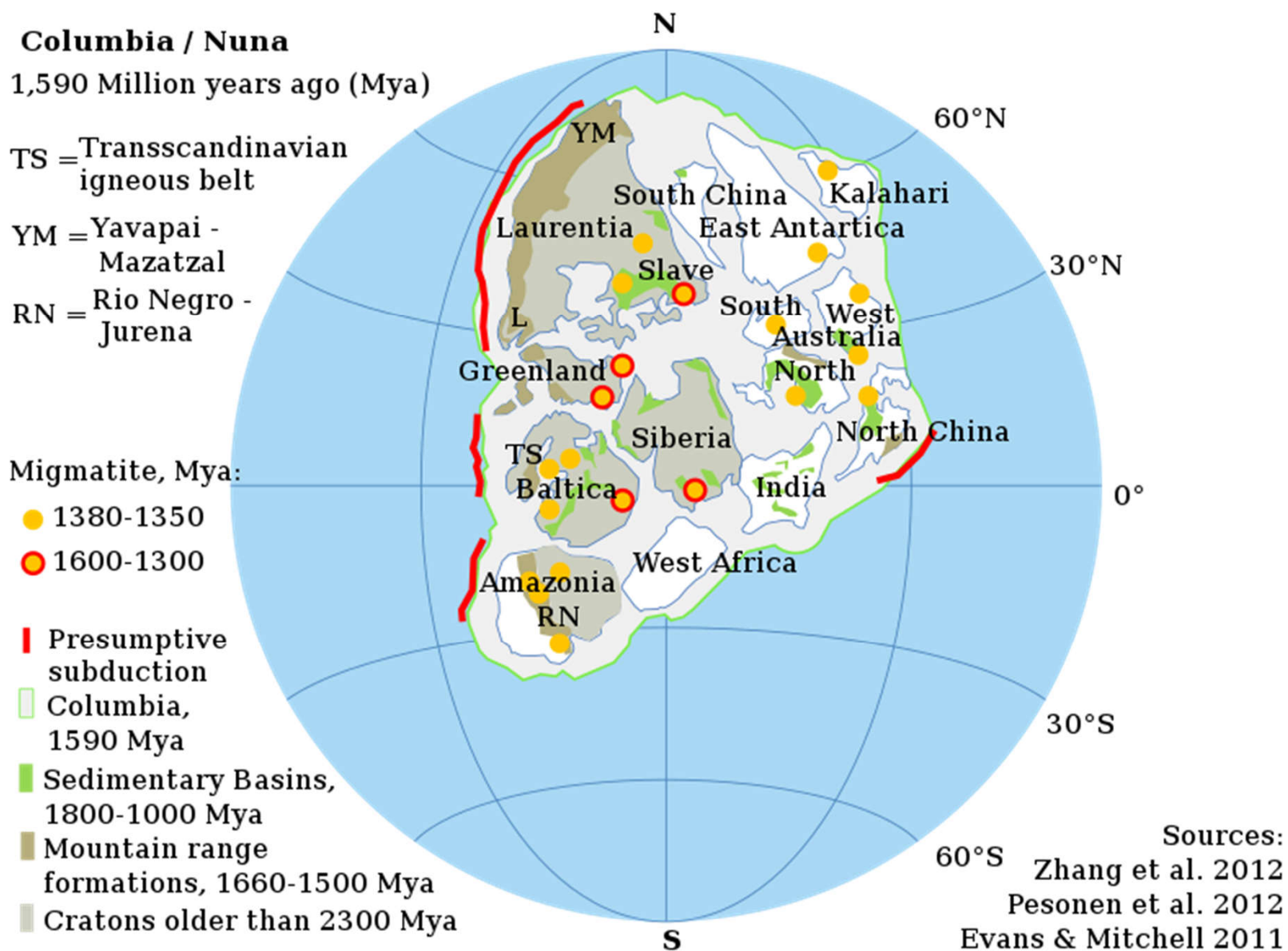
To test their model, the researchers used paleomagnetic data – records of the Earth’s magnetic field preserved in rocks – to study variations in the rotation of the planet with respect to its spin axis. Their analysis reveals an angle of 87° between Pangaea and its predecessor Rodinia, and an angle of 88° between Rodinia and its predecessor Nuna. From this, the researchers inferred that the new model best describes supercontinent transitions (*Nature* 482 208).

Płyty ustawicznie się zderzają: stąd pasma górskie



L'arco temporale di queste collisioni sono 200 mln d'anni

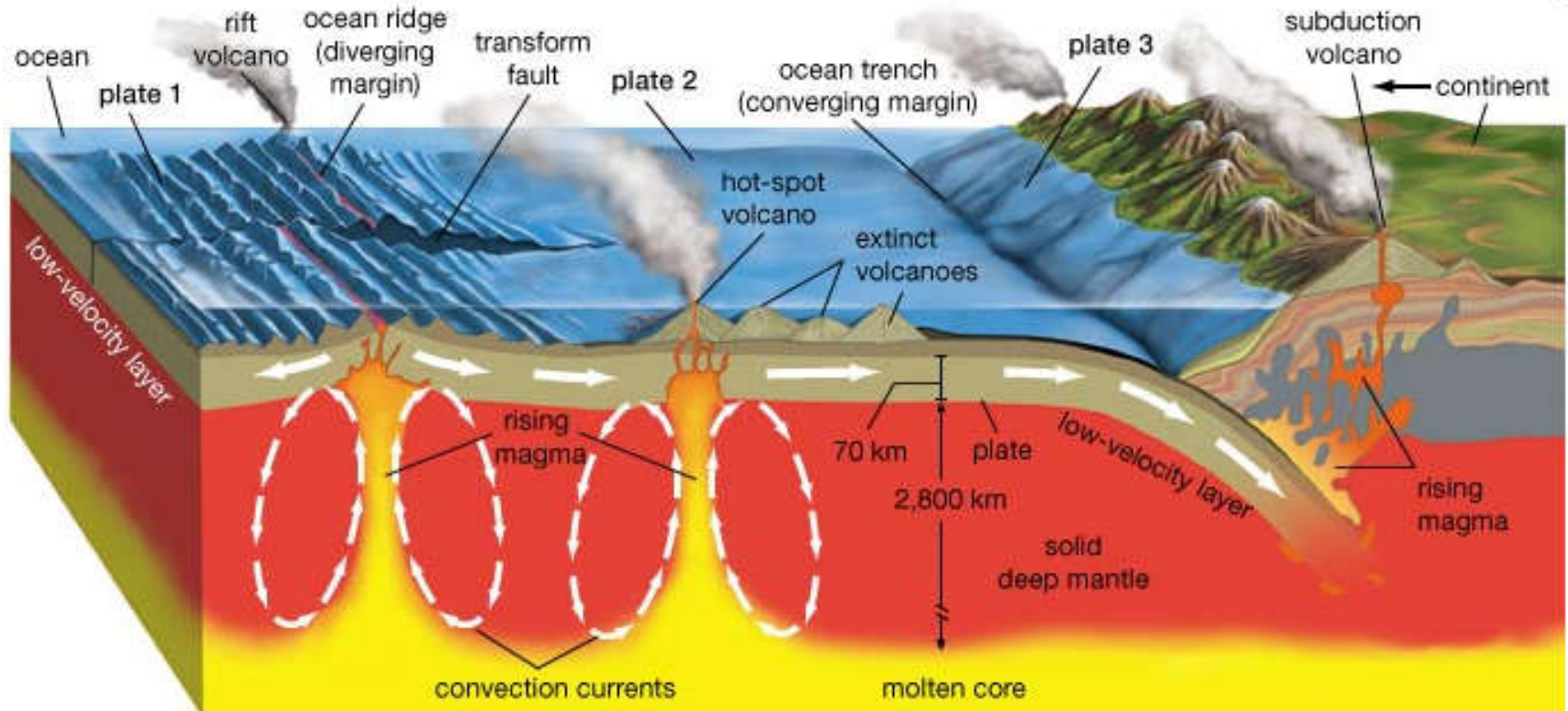
Columbia 1,590 mld temu



Paleogeographic globe, the Columbia supercontinent 1590 Mya

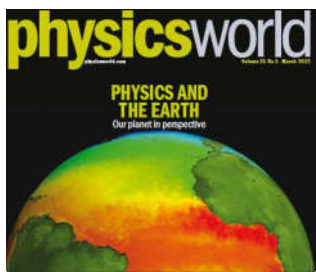
https://en.wikipedia.org/wiki/Boring_Billion#/media/File:Paleoglobe_NO_1590_my-a-vector-colors.svg

✓ Dryfujące kontynenty



❖ Konwekcja materii w płaszczu Ziemi jest bezpośrednią przyczyną dryfu kontynentów. Wylewy bazaltowej lawy na dnie oceanu oraz jej zastyganie powoduje przyrost w bilansie skorupy ziemskiej. Dla zachowania równowagi, stara skorupa „ginie” w strefach subdukcji.

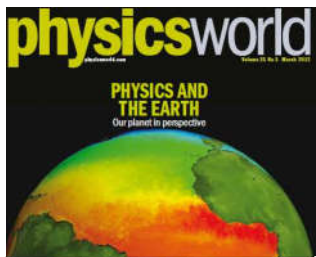
❖ Wzdłuż stref subdukcji przebiegają granice płyt (kier) tektonicznych. Oprócz siedmiu wielkich płyt tektonicznych, wyróżniamy także szereg mniejszych np.: płyty Nazca, Karaibska, Kokosowa, Filipińska.



Zderzenia kontynentów: pasma górskie i rowy oceaniczne

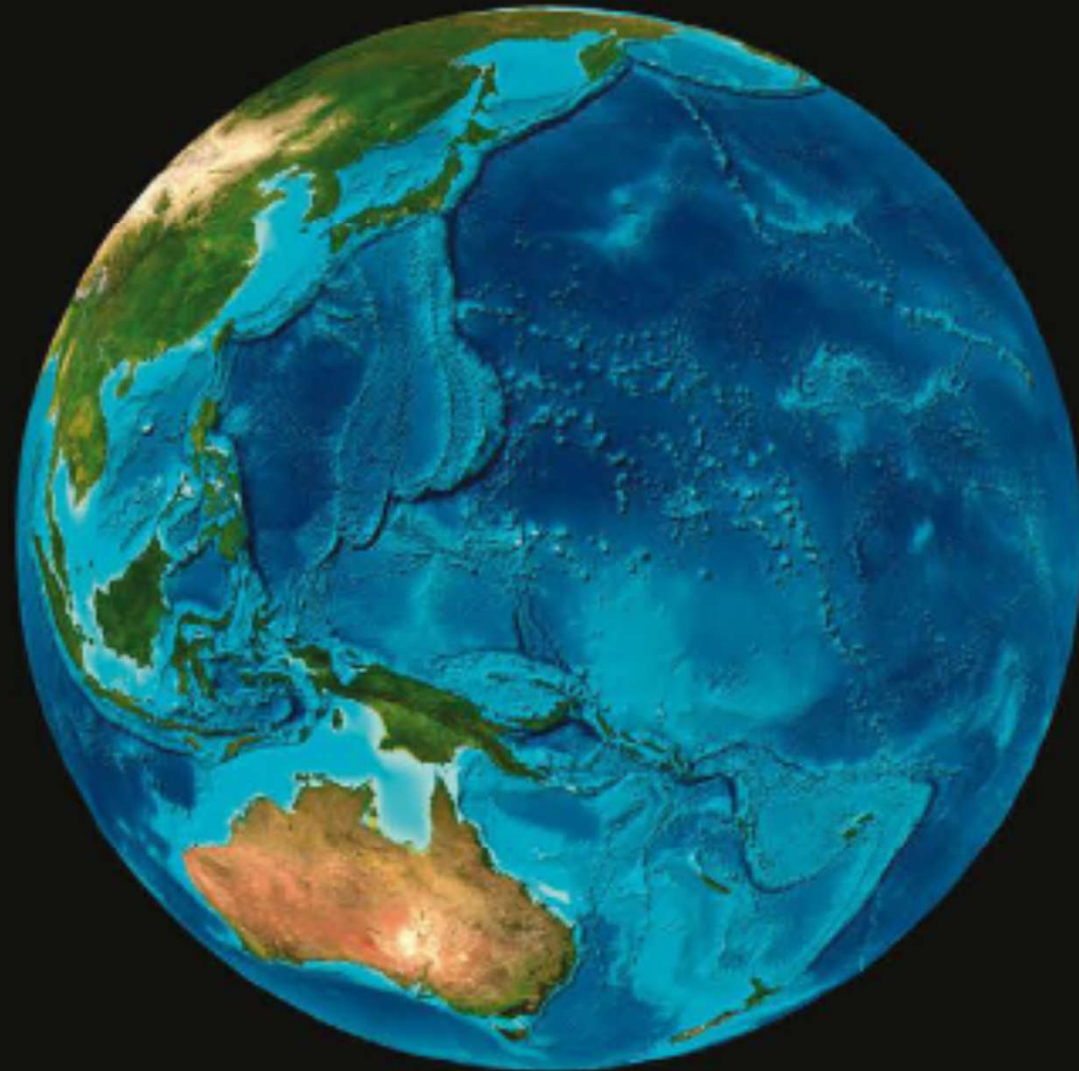


Highs and lows This image shows the first dataset to merge models of the Earth's land elevation and its ocean depths that both use satellite radar altimeter measurements. Both use data from the European Space Agency's European Remote Sensing satellites, although the ocean depths model also uses the US Navy's Geosat satellite along with depth soundings collected from ships.



Zderzenia kontynentów: pasma górskie i rowy oceaniczne

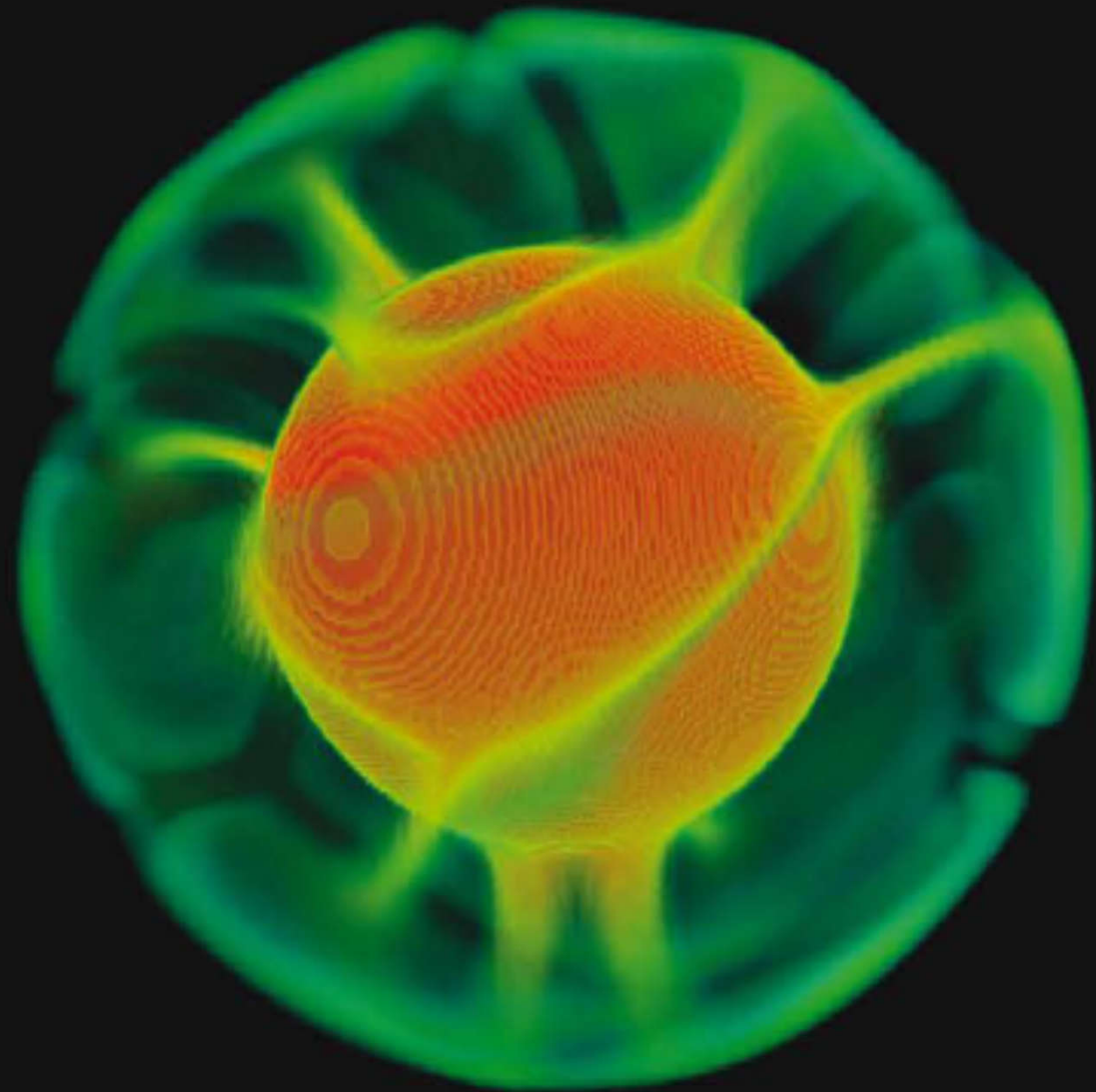
Under the sea This map of the Western Pacific Ocean, with Australia bottom left, shows seabed depth from shallow (light blue) on the continental shelves to deep (dark blue) in the ocean basins. The sea floor contains massive mountains as well as trenches, which cause the ocean surface above to bulge outward and inward, respectively, the height of which is measured using satellites to map the ocean floor. The main features seen here are the ridges and subduction zones around the Pacific Ocean's "Ring of Fire", including the Marianas Trench (above and left of centre), which contains the deepest point in the world's oceans at around 11 km.



Martin J. Hutchings/Science Photo Library

✓ Komórki konwekcyjne

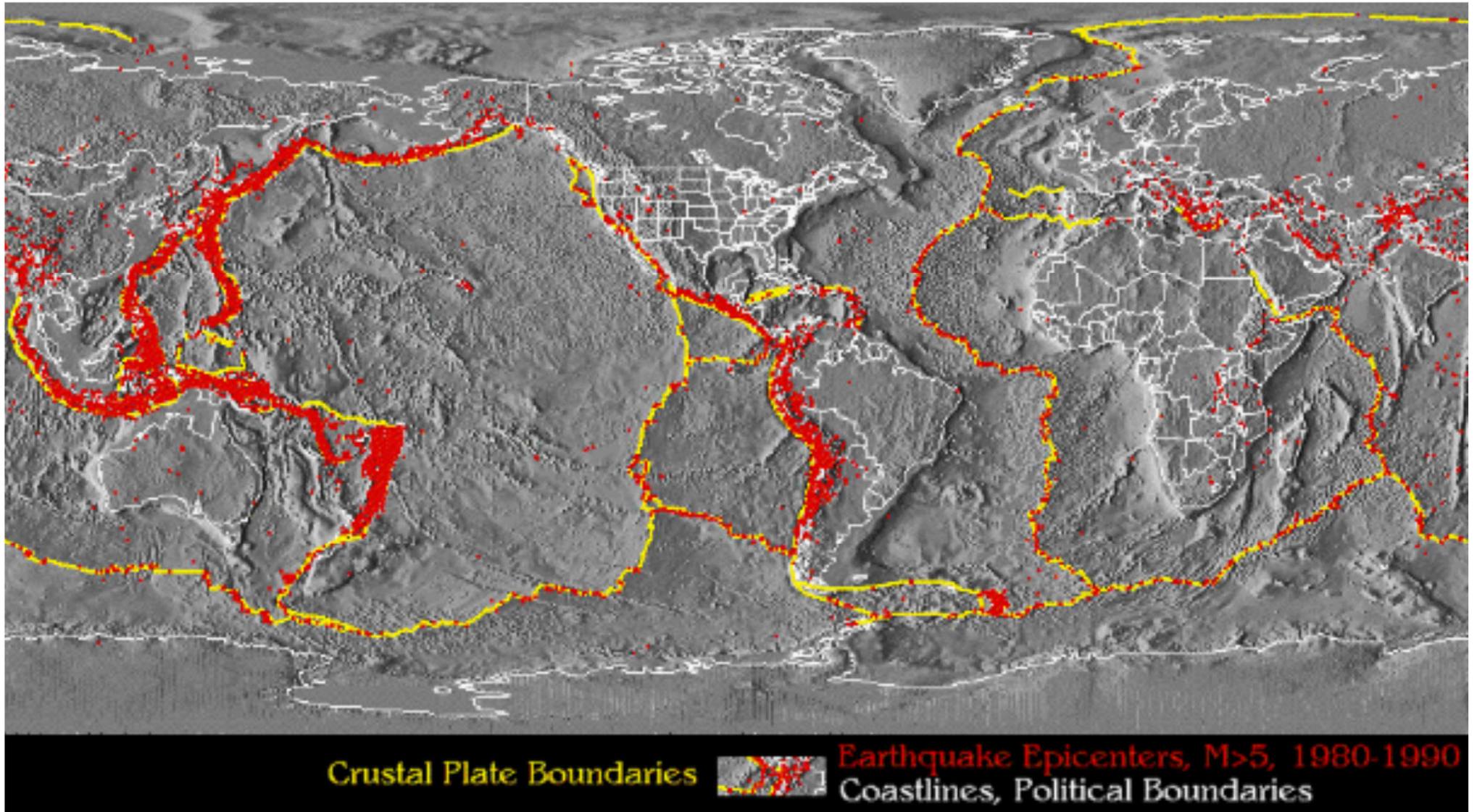
Flery flow This 3D computer model shows hot magma, heated at the Earth's core-mantle boundary, rising as hot plumes (orange) to the upper mantle. Here, the plumes fan out before sinking as cooler magma (green), driven by convective currents. Such mantle plumes are thought to drive plate tectonics as well as some of Earth's volcanoes. However, like much of the science of what is beneath our feet, the exact mechanisms behind mantle plumes are not fully understood. Clues could come from mapping seismic waves, which are predicted to travel slower through hot mantle than through cooler mantle.



Shuife Zhang/Shao Wang/Science Photo Library

Potrafimy modelować komórki konwekcyjne w płaszczu Ziemi

✓ „ogniste obrzeże Pacyfiku”, ale nie tylko



Przez środek Atlantyku biegnie wulkaniczny szew, a w zamian za to, płyta pacyficzna wciska się pod wschodnie wybrzeże Japonii, i zachodnie Ameryki Południowej

Eppur si muove !

La Terra è interessata da **modificazioni e movimenti continui, sia superficiali sia interni.**

La teoria della **"Tettonica a placche"** per spiegare l'evoluzione del pianeta Terra, ha il suo progenitore nel geofisico tedesco A. Wegener che all'inizio del secolo XX (1912) inquadrò in un teoria organica i dati in parte già noti e discussi: la **"deriva dei continenti"**. Egli propose un'idea di superficie terrestre in movimento, in evoluzione, con i continenti "alla deriva" negli oceani, come pezzi di un primigenio, unico, continente: questo supercontinente fu denominato **Pangea**.

*Negli anni '60 e '70 si realizza quella rivoluzione scientifica delle scienze della Terra che va sotto il nome di **tettonica a placche** o più propriamente **TETTONICA GLOBALE**, proprio perché cerca di inquadrare e spiegare tutti i fenomeni geologici del pianeta (continenti, oceani, catene montuose, vulcani, terremoti, dati paleontologici, paleoclimatici, paleomagnetici,*



D E R I V A D E I C O N T I N E N T I



L'intera superficie terrestre è costituita da un mosaico di **'placche'** o **'zolle'** in movimento relativo tra di loro: in allontanamento (margini in accrescimento = dorsali oceaniche), in avvicinamento (margini in consunzione = catene montuose), scorrimento laterale (margini trasformati). **Tutti i margini coincidono con le principali zone sismicamente attive della Terra**



Powierzchnia Ziemi ustawicznie się odnawia

oceanica e continentale è definito Litosfera, distinta da una zona più profonda e fluida definita Astenosfera, con caratteristiche petrografiche differenti)

- tutti gli attuali continenti erano uniti circa 200 milioni di anni fa (inizio del Giurassico)
- i continenti si separarono tra loro per la creazione di una nuova crosta oceanica, tramite effusioni laviche di materiale astenosferico (nascono nuovi oceani)
- vecchia crosta oceanica si 'scontra' con i margini dei continenti e subduce all'interno dell'astenosfera andando in consumo (nascono catene montuose e vulcaniche)



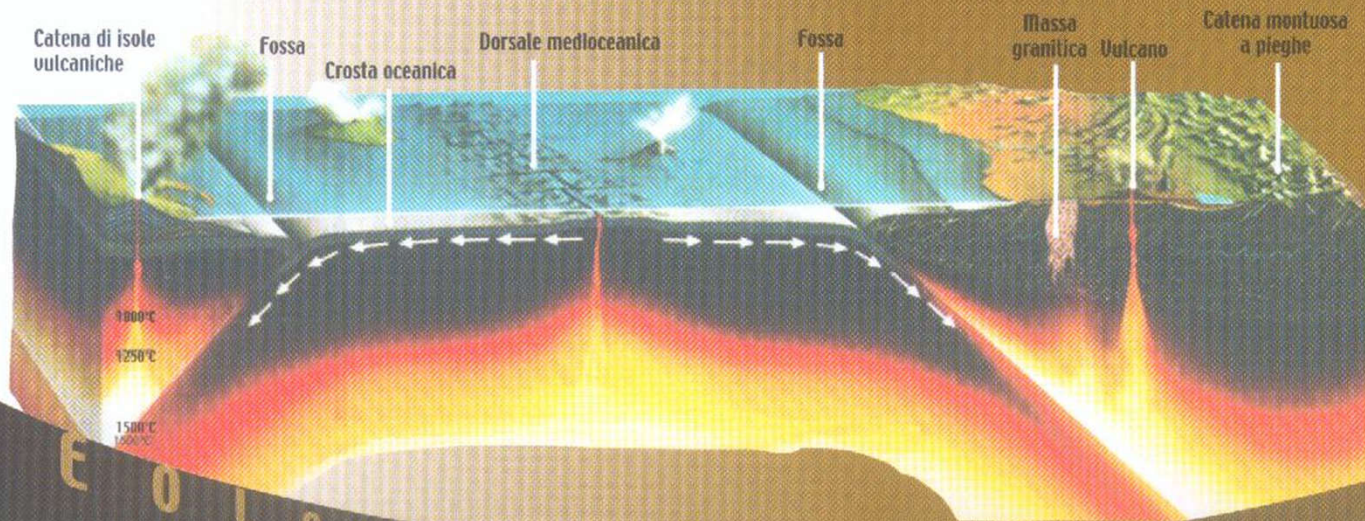
Distribuzione degli eventi sismici sul globo terrestre: strette fasce di intensa attività separano vaste zone di relativa calma

La superficie terrestre è dunque in movimento, in continua evoluzione, si rinnova continuamente:

nuovo materiale è portato in superficie dall'interno del pianeta, altro materiale è subdotto e consumato c'è una vitalità della Terra che ha i suoi tempi, diversi dai nostri riferimenti temporali: tempi lunghissimi indispensabili per permettere al pianeta di

diventare quello che è attualmente, con tutto il suo carico di particolarità (clima, atmosfera, acqua, biodiversità, evoluzione).

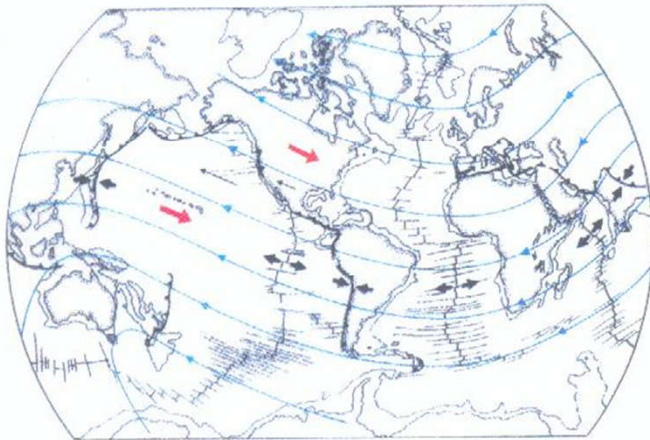
LA FORZA SOTTO LA CROSTA TERRESTRE



Diaczego się porusza?

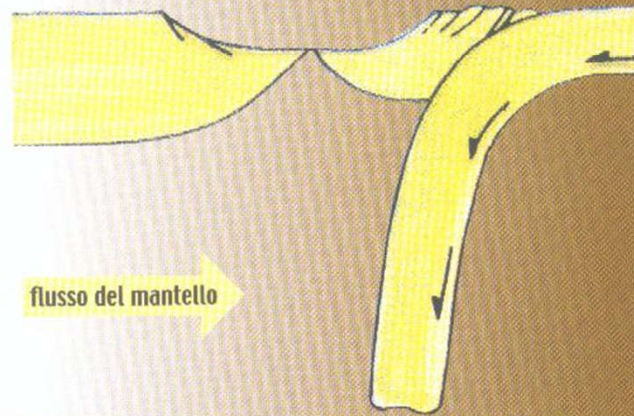
Perché si muove?

La tettonica a placche è una teoria ormai consolidata, ma per molti aspetti non è ancora chiaro il meccanismo che la governa; di solito vengono invocate come causa le "celle convettive".

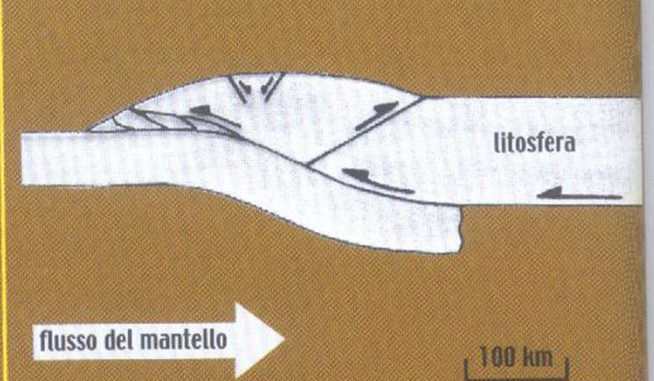


C. Doglioni nel 1990 propone, per la prima volta, una serie di osservazioni che permettono un approfondimento sul tema del 'motore' della tettonica. Grazie ai satelliti e agli studi di geofisica e geologia strutturale, sappiamo con precisione quanto e come si muovono e si sono mosse in passato tutte le

subduzione verso ovest

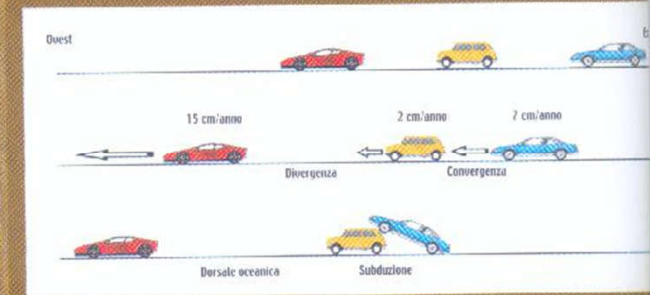


subduzione verso est e nordest



E' inoltre semplice osservare la regolarità di altri fenomeni :

- la subduzione di una placca sotto un'altra avviene in modo diverso se il movimento relativo è verso ovest (piano di subduzione più inclinato) o verso est (piano molto meno inclinato)
- analogamente l'altezza delle catene montuose collegate agli scontri fra le placche è diversa: nella compressione verso ovest le catene montuose sono più basse e con un minor numero di elementi 'profondi' rispetto a compressioni verso est.



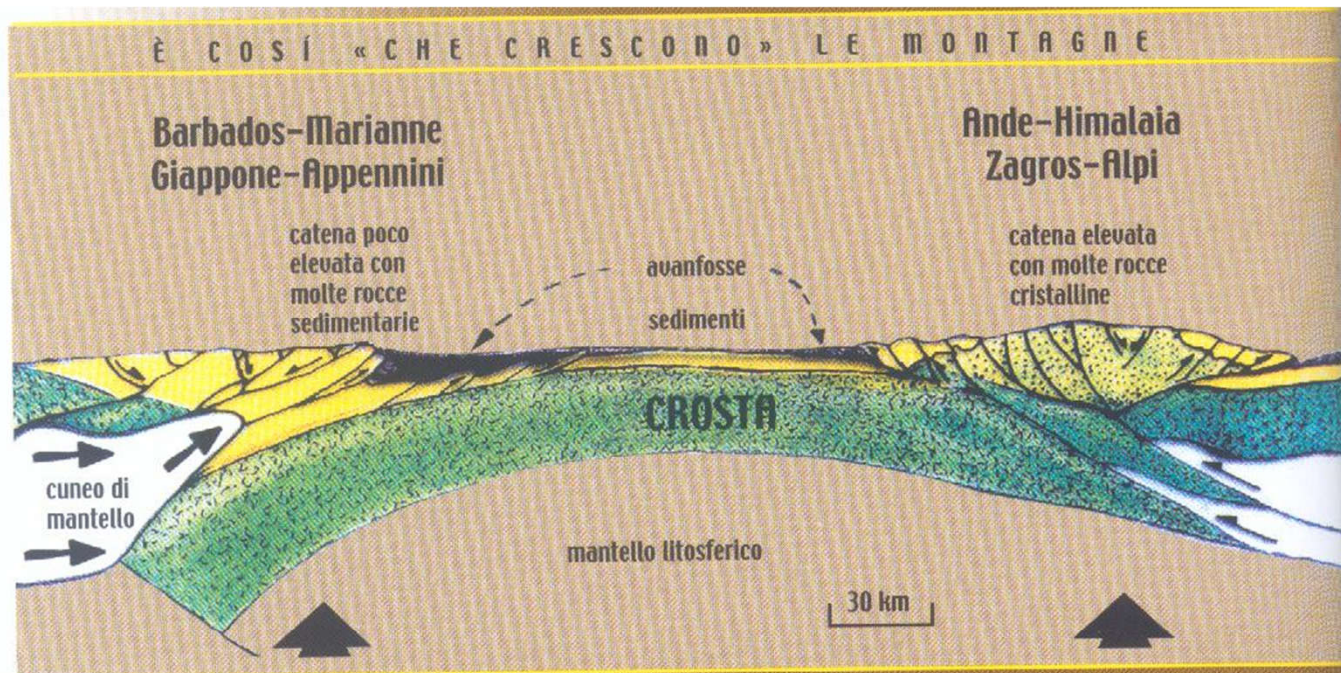
Barbados – Marianne – Japonia – Apeniny Andy – Himalaje – Zagros – Alpy

placche: direzione ed entità del movimento sono ricavabili dalle zone di estensione o di compressione e rappresentabili con dei 'vettori di movimento'.

Correlando le direzioni del moto di tutte le placche conosciute appare evidente che vi è **una regola** nel movimento della litosfera rispetto al mantello e che i vari frammenti descrivono un flusso generale mediamente est-ovest ma con una ondulazione globale chiaramente visibile.

«Le placche non si muovono quindi a caso»

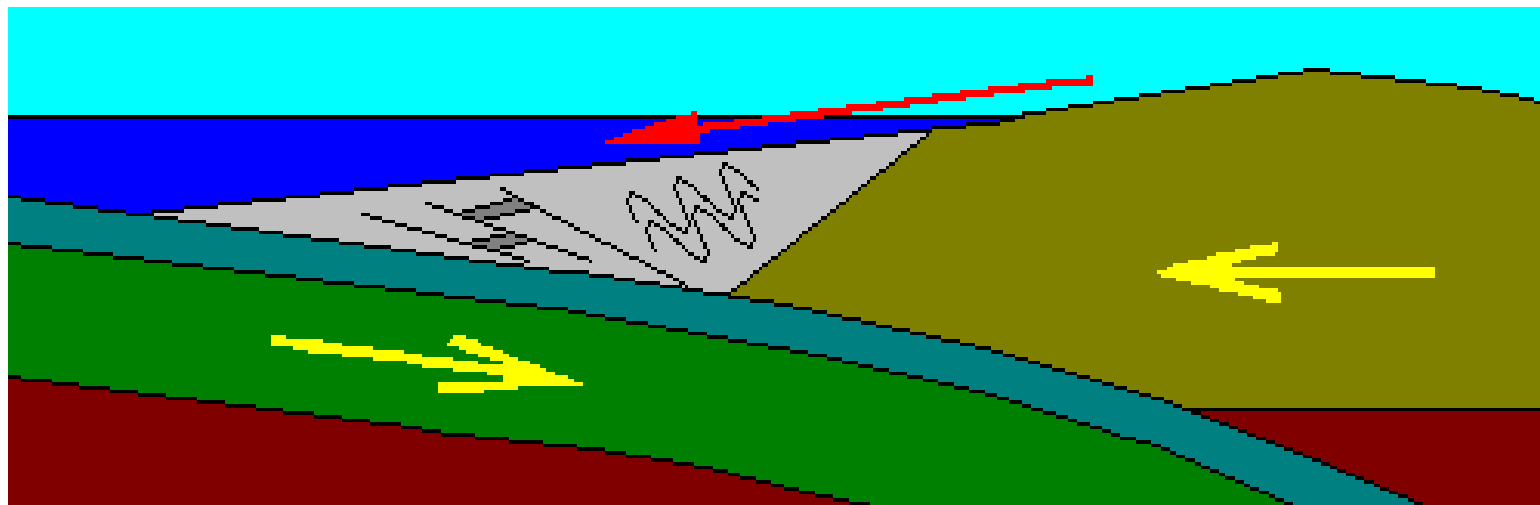
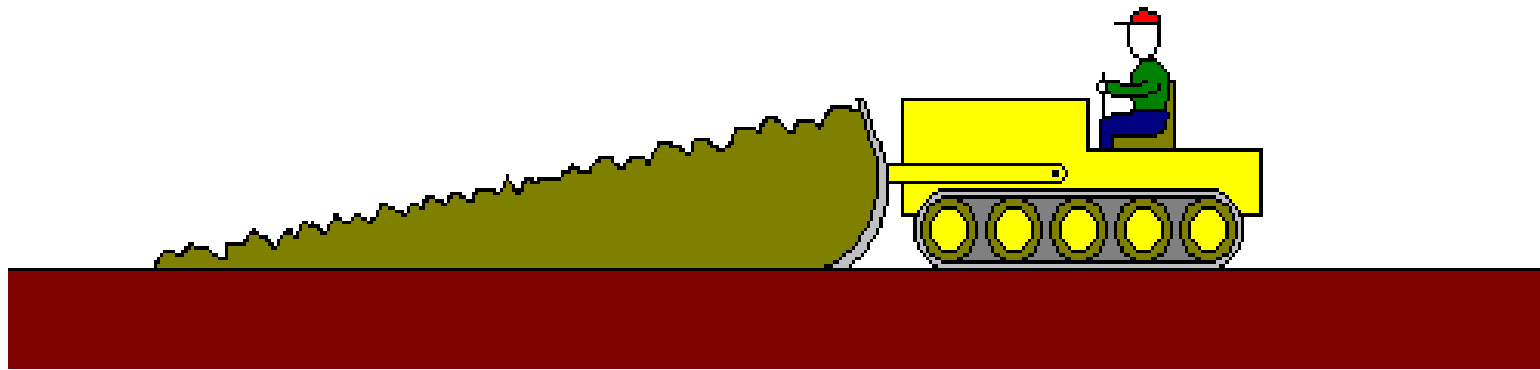
Anche queste osservazioni permettono di riconoscere quindi una logica unitaria di tutti i movimenti. C'è un ulteriore importante fattore da considerare: la forte differenza di caratteristiche della crosta superficiale (litosfera) rispetto al mantello (astenosfera); questo permette di registrare una 'deriva' in senso orario (verso ovest) della Litosfera rispetto all'Astenosfera. Cioè: **esiste un movimento relativo verso est del mantello sotto la crosta.**



Questo, fra l'altro, spiega le differenze dei fenomeni tettonici a seconda della loro orientazione. Esistono altre evidenze interessanti; per esempio la velocità delle placche, che aumenta regolarmente dalle zone polari a quelle equatoriali. Considerando la regolarità del flusso di movimento delle placche e i succitati punti di base, legati alla direzione di rotazione della Terra, pare difficile credere che gli effetti astronomici non siano un fattore determinante nella tettonica a placche.

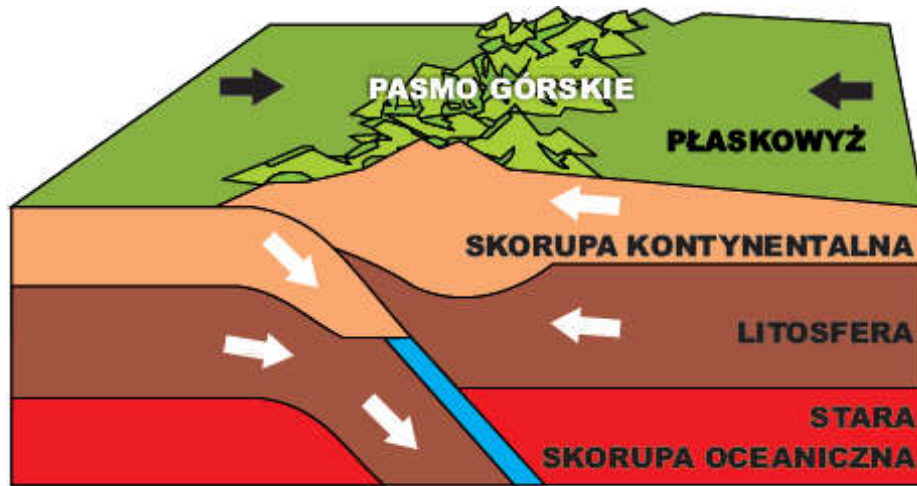
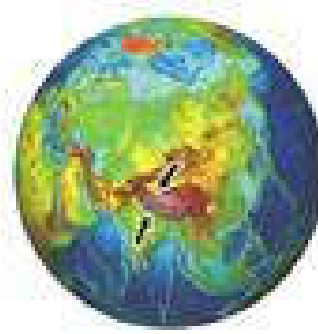
Secondo alcune teorie le diverse e cicliche oscillazioni dell'asse terrestre potrebbero condizionare direttamente questi flussi e le loro ondulazioni. Viscosità e disomogeneità dell'insieme crosta mantello unitamente alle continue variazioni di inclinazione dell'asse potrebbero portare a questa ondulazione globale delle linee di flusso (che invece in sistemi molto meno viscosi, come nei pianeti Giove e Saturno sono paralleli).

Powstawanie łańcuchów górskich wskutek subdukcji płyt

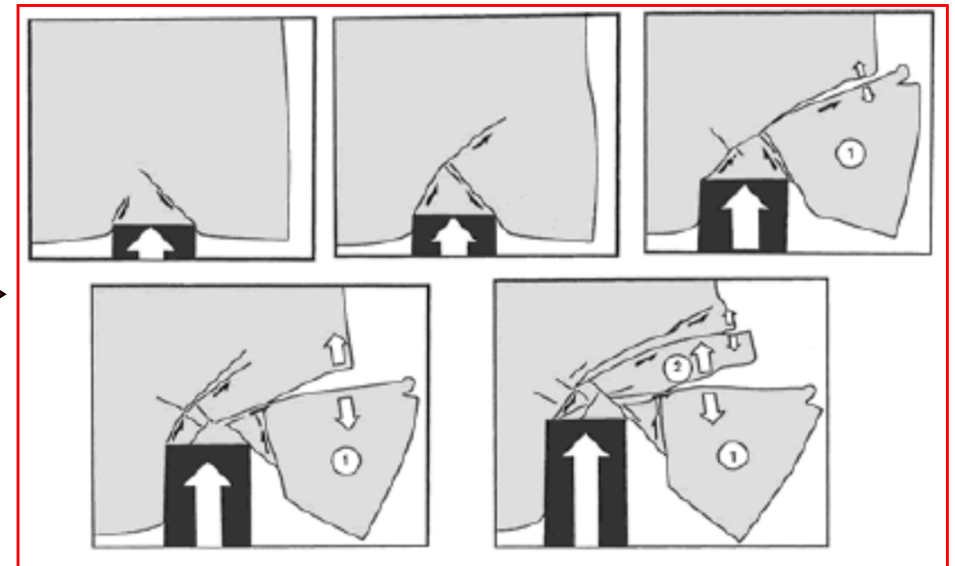
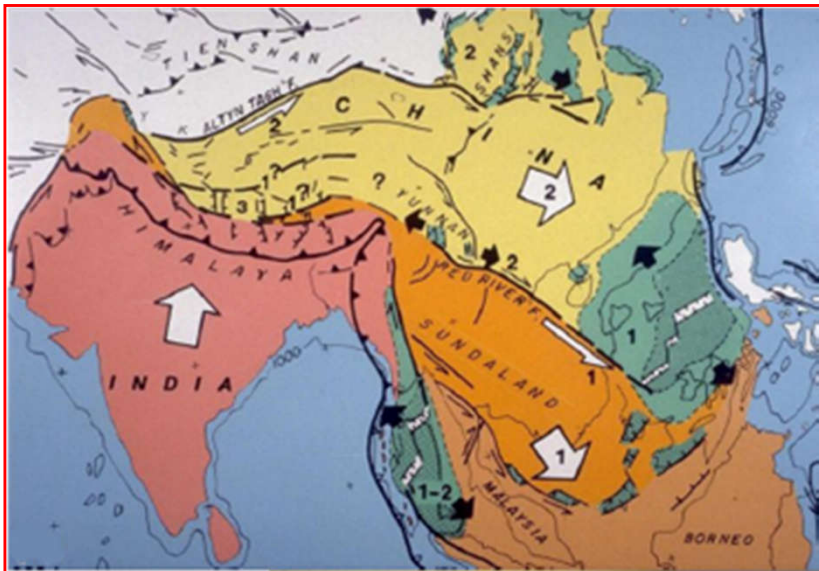


✓ Dryfujące kontynenty

- C) Kolizja płyt kontynentalnych



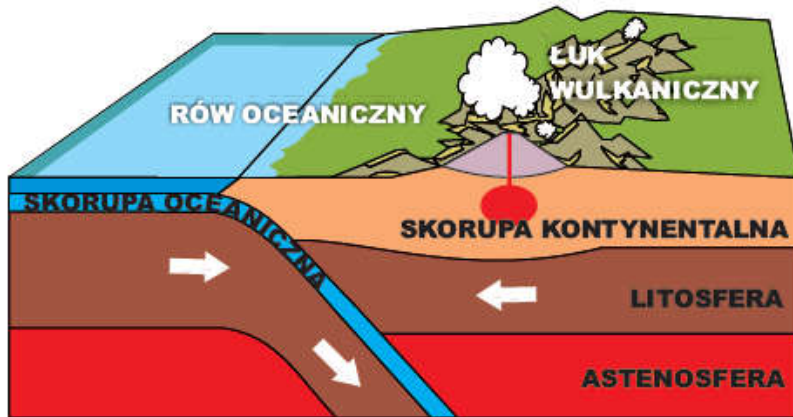
Te zderzenia „produkują” najbardziej spektakularne pasma górskie na Ziemi, takie jak Himalaje, które powstały w wyniku kolizji płyty indyjskiej i eurazjatyckiej. Inne pasma górskie powstałe w wyniku konwergencji tego typu to m.in. Alpy, Ural i Appalachy.



✓ Dryfujące kontynenty



- A) Subdukcja płyty oceanicznej i kontynentalnej

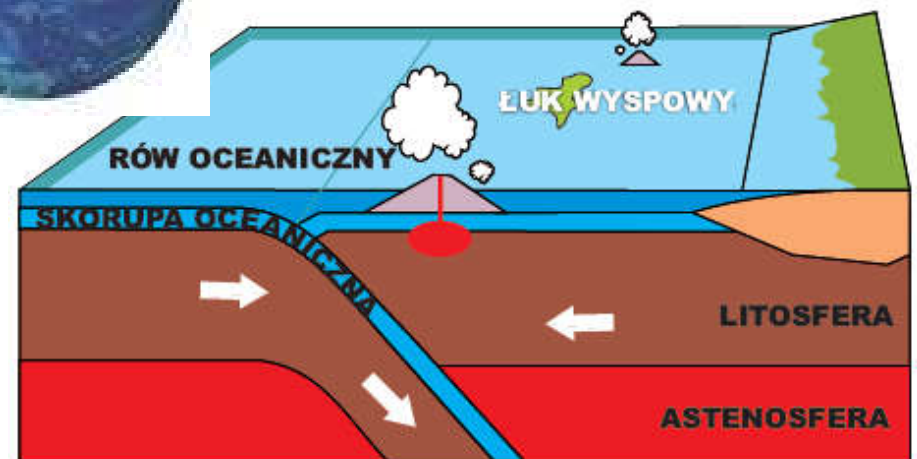
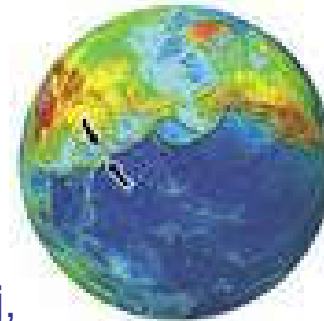


Przejawem subdukcji tego typu jest proces podsuwania się płyty Nazca pod płytę Ameryki Południowej. Strefę subdukcji wyznacza tu rów Atakamski. Osady zdarte z dolnej płyty przyłączane są do kontynentu amerykańskiego powodując ciągły wzrost jego powierzchni.

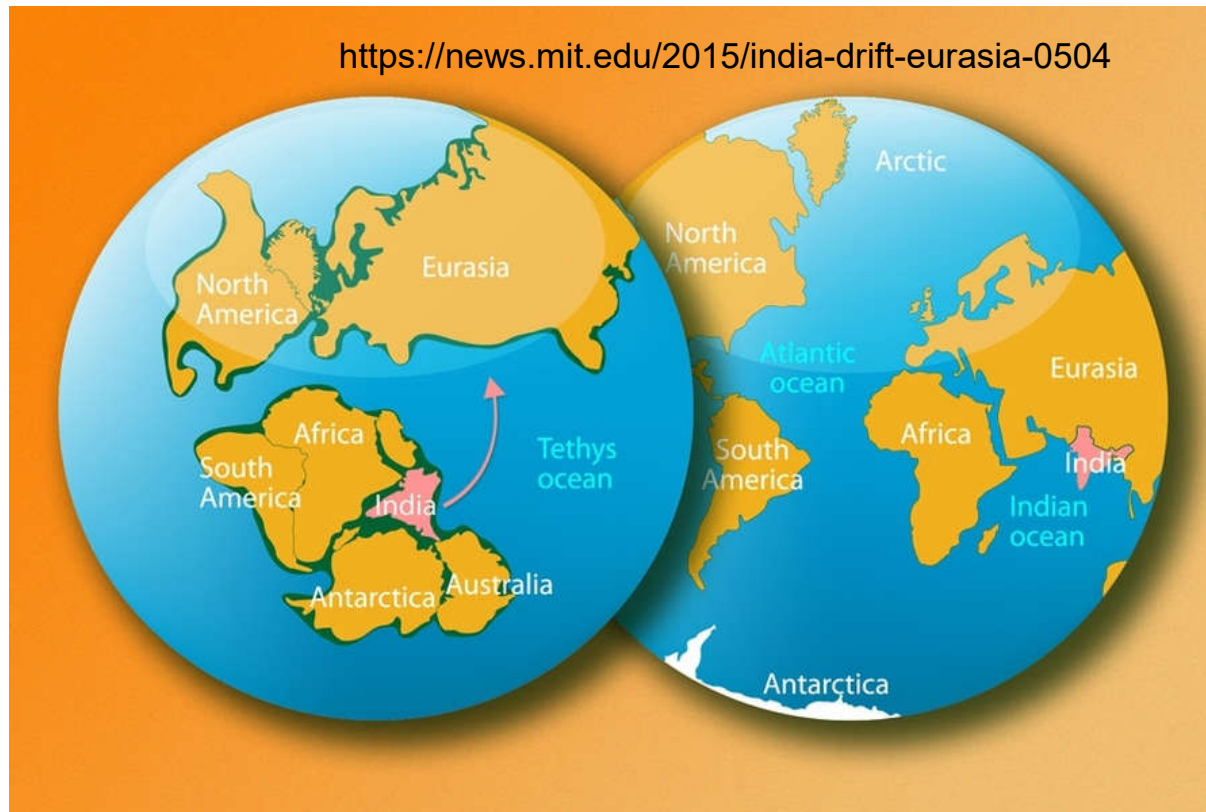
Mały kąt (20°) subdukcji powoduje, że łańcuch wulkanów jest odsunięty od wybrzeża na 100 km

- B) Subdukcja płyt oceanicznych

Powoduje aktywność wulkaniczną podobną do tej, która występuje w konwergencji płyt oceanicznej i kontynentalnej. Różnica polega na tym, że wulkany powstają na dnie oceanu. W miarę postępu całego procesu stożki wulkaniczne „wyrastają” ponad jego powierzchnię tworząc łańcuch małych wysp wulkanicznych. Wyspy Tonga, Aleuty i Mariany są przykładem wulkanicznych łańcuchów wysp. Wyspy znajdują się zwykle około 200 do 300 km od osi rowu.



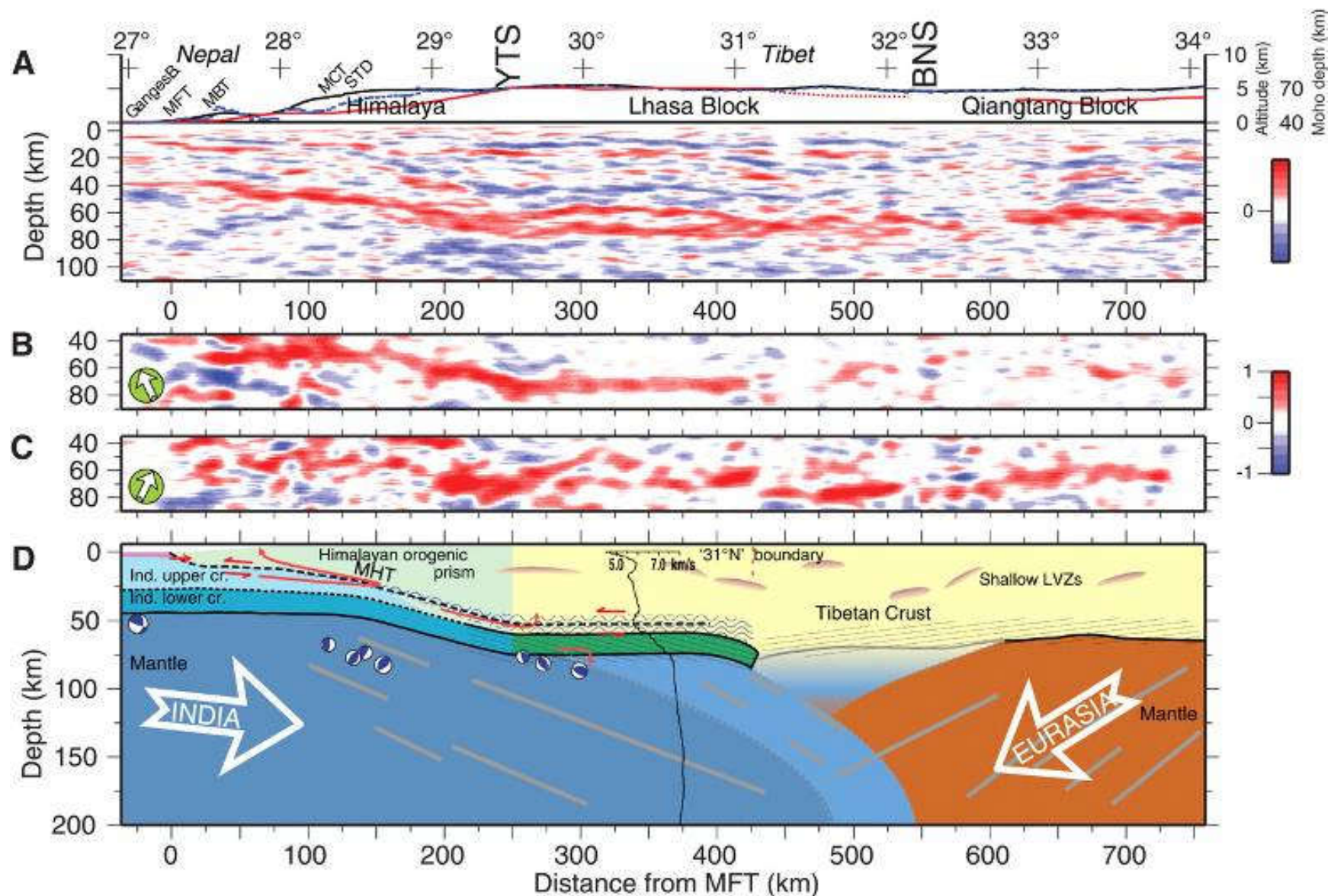
Indie jak surfista



More than 140 million years ago, India was part of an immense supercontinent called Gondwana, which covered much of the Southern Hemisphere. Around **120 million years ago**, what is now India broke off and started slowly migrating north, at about 5 centimeters per year. Then, about 80 million years ago, the continent suddenly sped up, racing north at about **15 centimeters** per year — about twice as fast as the fastest modern tectonic drift. The continent collided with Eurasia about 50 million years ago, giving rise to the Himalayas. India was pulled northward by the combination of two subduction zones — regions in the Earth’s mantle where the edge of one tectonic plate sinks under another plate..’

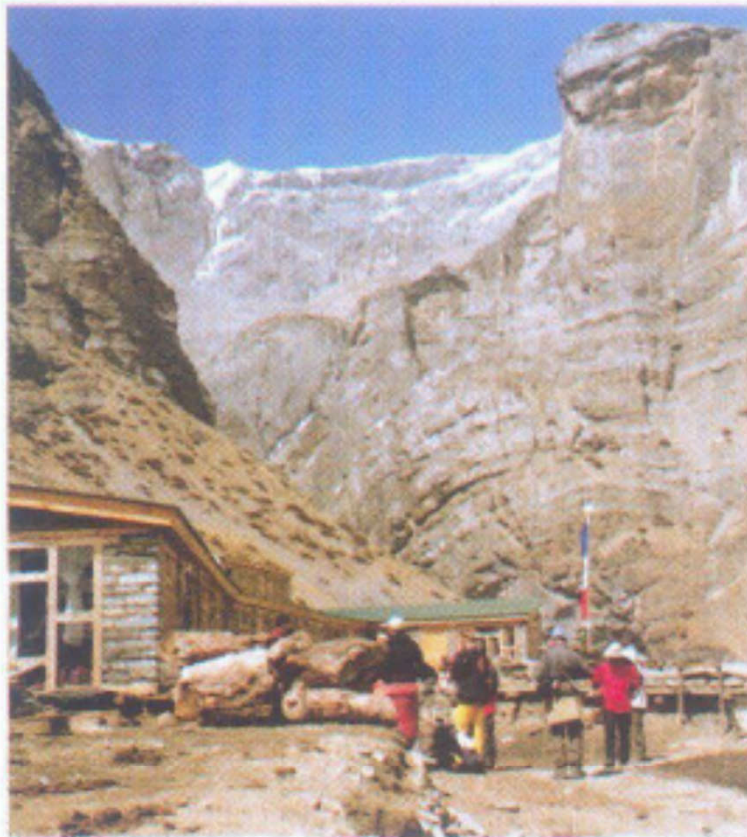
But the acceleration was due to plume of magma that welled up from the Earth’s mantle. The plume created a volcanic jet of material underneath India, which the subcontinent could effectively “surf” at high speed..

Subdukcja płyt kontynentalnych

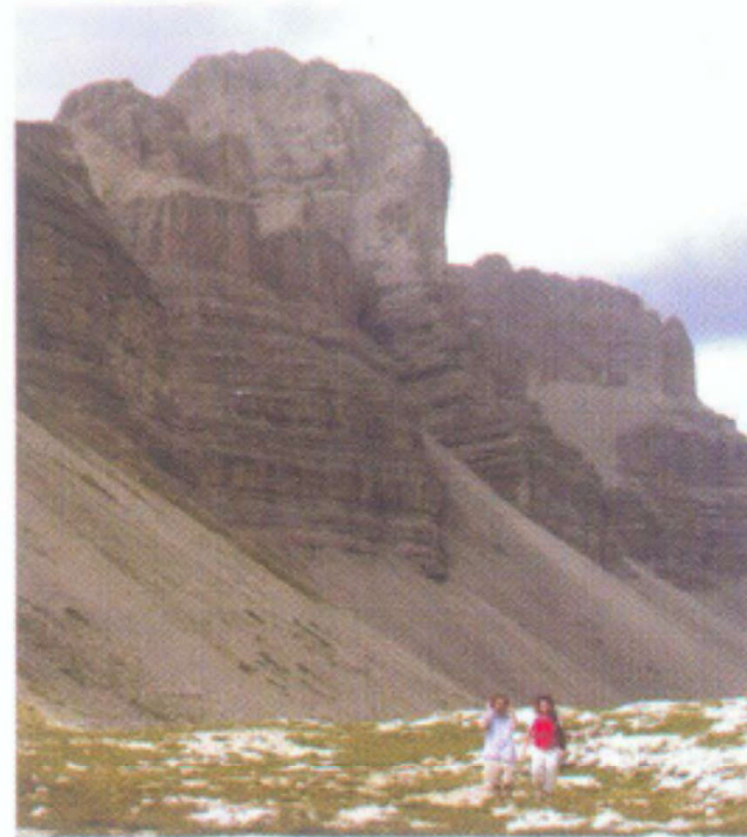


Subdukcja Indii pod Euroazję (14 cm/ rok) :Himalaje, zbadane z km dokładnością

Przykład: subdukcja płyt kontynentalnych



Fot. 2. Himalaje składają się m.in. ze skał wapiennych, zdrapanych w postaci grubego słoja skał osadowych z płyty indyjskiej (fot. J. Karwowski)



Fot. 3. Dolomity di Brenta, centralne pasmo Alp to grube, kilkukilometrowe pokłady wapieni, podobnie jak Himalaje zdrapane z innej płyty – najpierw oceanicznej, a później wynurzonej (Passo Grosté, 2442 m n.p.m. (fot. M. Karwasz)

Indie uderzyły w Azję, a półwysep włoski w Europę: Himalaje przypominają Alpy

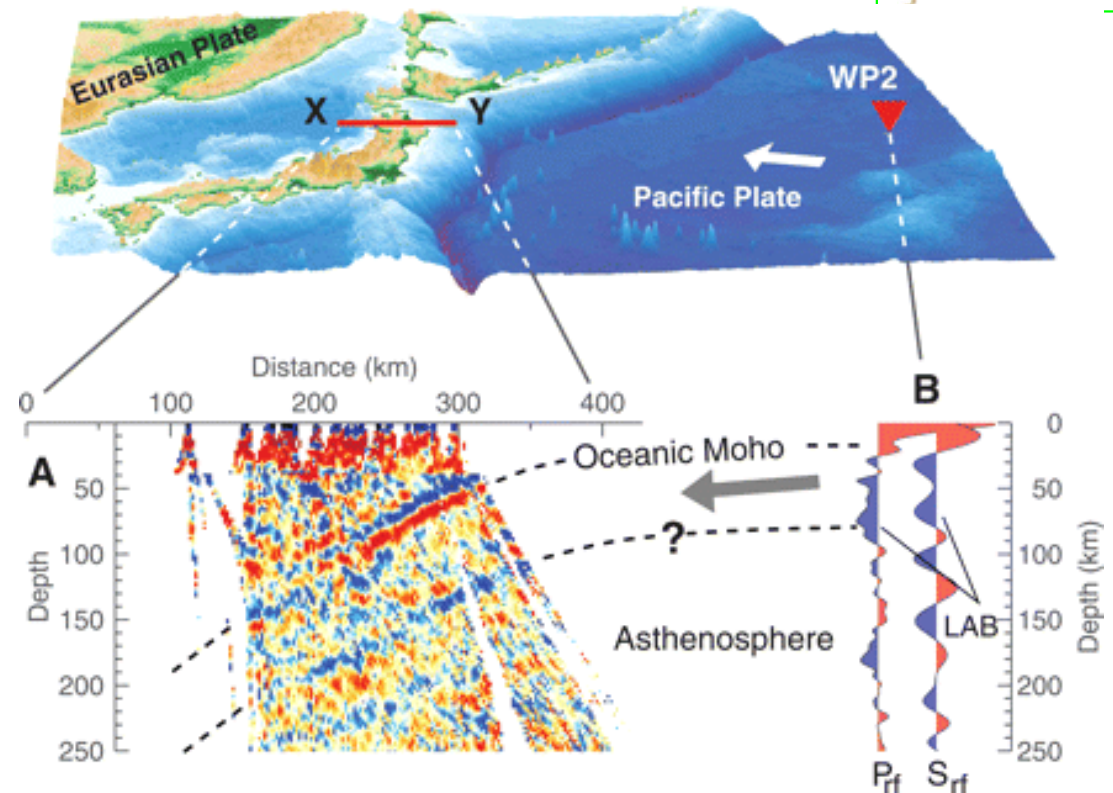
Subdukcja płyty oceanicznej pod kontynentalną: Japonia



Zatoka Matsushima: wapienne wysepki



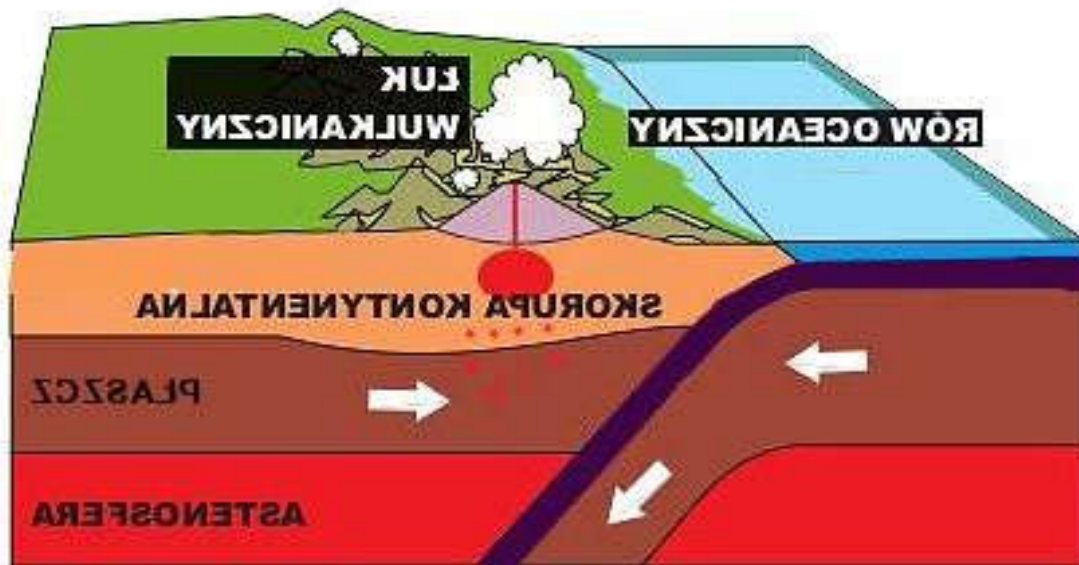
Wulkan Kagoshima na południu Japonii



Płyta oceaniczna wpada (ze wschodu na zachód) pod dużym kątem (45°) pod płytę kontynentalną

W wyniku procesu subdukcji za rowem oceanicznym powstają łuki wyspowe lub wulkaniczne łańcuchy górskie. Przykładem jest łańcuch Wysp Japońskich.

Placche in collisione: oceanica vs continentale in moto a ovest (Giappone)



Giappone

La placca pacifica si muove a ovest

Angolo di subduzione: 45°

Vulcani vicini alla costa

Due fogli di carta in collisione



Foto: Maria Karwasz

Fujimoto



Matsushima

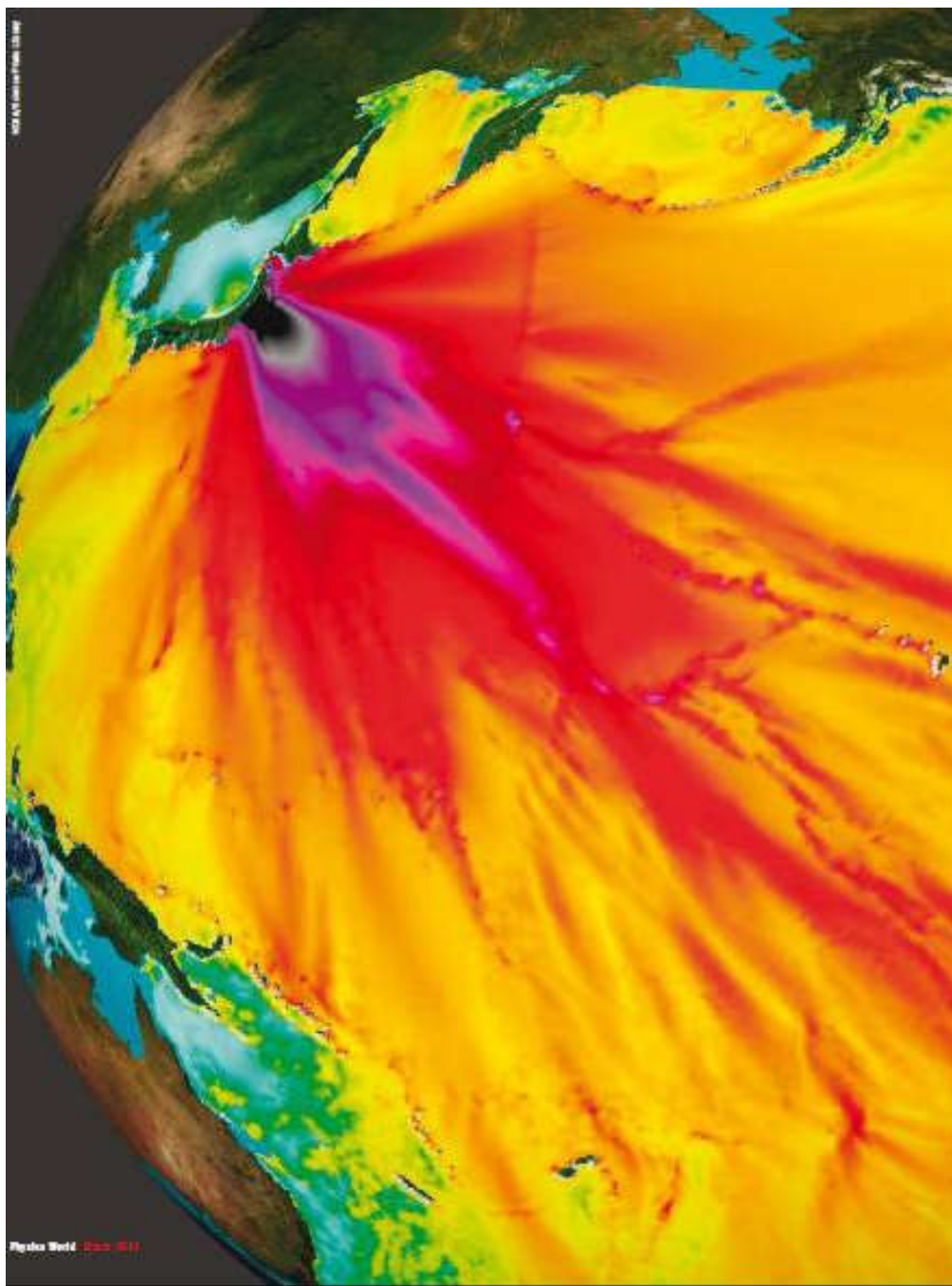


Siberia



Foto: Maria Karwasz





Physics and the Earth

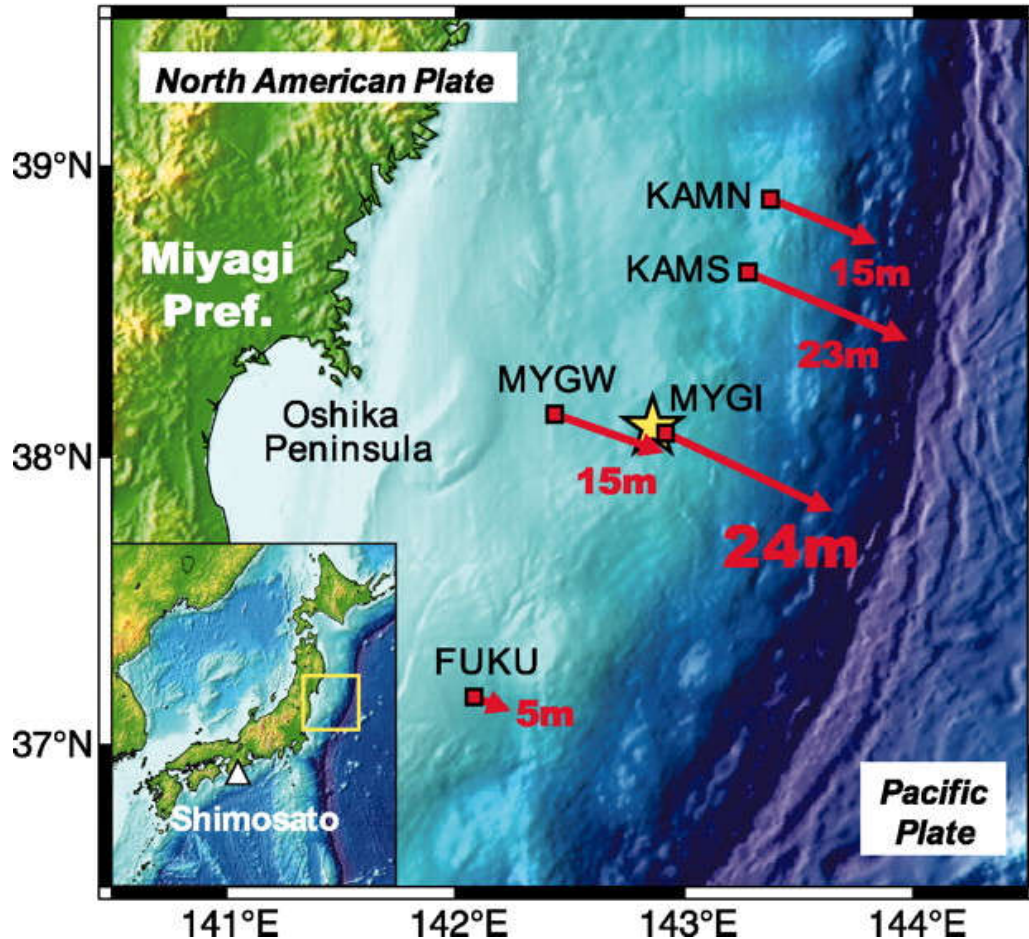
Welcome to this special issue of *Physics World* devoted to our home, Earth. Over the next 34 pages, we take you on a journey from the crust to the centre of the Earth, encountering earthquake physics, geomagnetic reversal, core conditions and even geoneutrinos. But first we begin with these fabulous visualizations from afar, showing planet-wide phenomena in all their glory

Wave power This computer model shows the maximum wave heights in the Pacific Ocean in the aftermath of the 2011 earthquake in Tohoku, Japan. Colour coding is from shallow (yellow, 20 cm) through to moderate (red, 60 cm) and large (purple, 120 cm, and black, 240 cm+). The worst-hit areas in Japan had surges 3–7 m high. The tsunami did more damage than the magnitude 9.0 earthquake that caused it, with 92.5% of the 13 135 fatalities recorded by 11 April 2011 having died by drowning. Asw waves spread across the Pacific they decreased in height, before growing again upon reaching coastal areas. This model was produced by the Center for Tsunami Research at the Pacific Marine Environmental Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration.

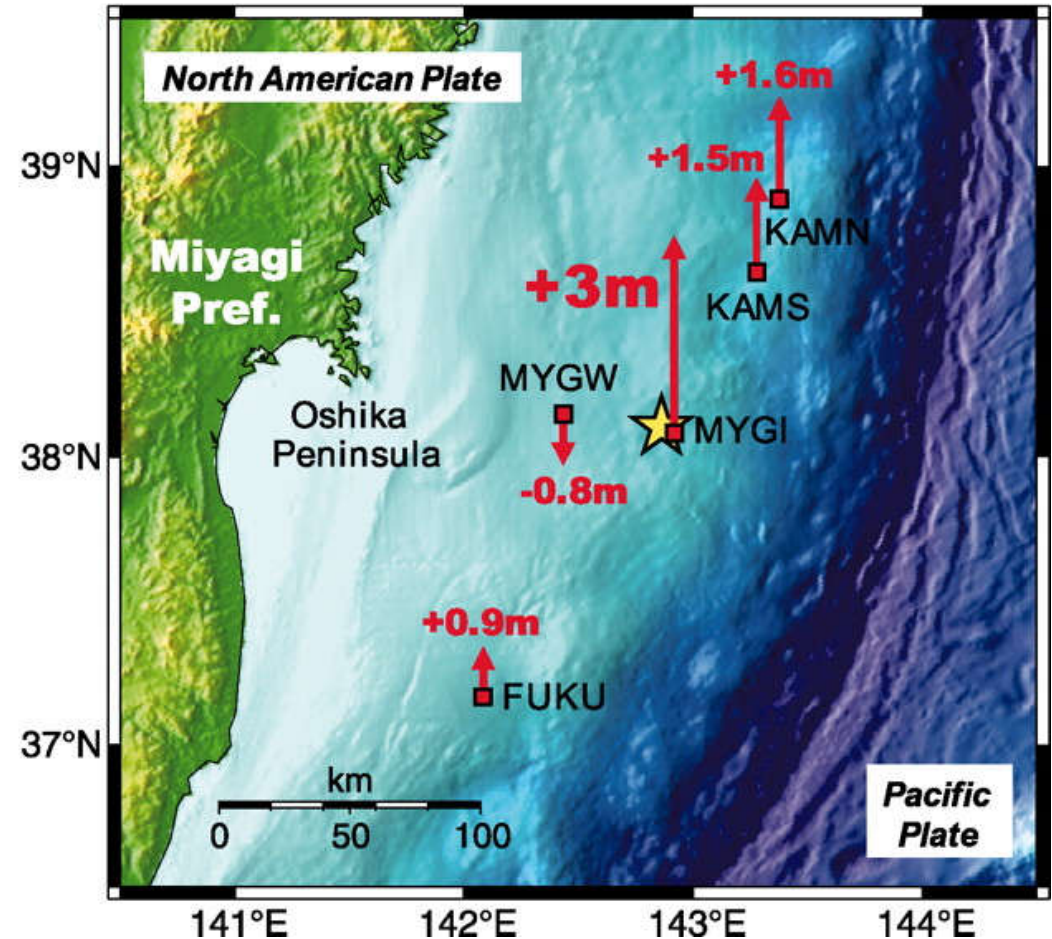
Fala tsunami po trzęsieniu ziemi Tohoku u wybrzeży Japonii 11.03.2011
9,0 (!) w skali Richtera (trzecie najsilniejsze w historii ludzkości): 20 tys. ofiar
Napężenie między dwoma płytami akumulowało się przez 800 lat

Tohoku earthquake (12.03.2011)

A Horizontal displacements

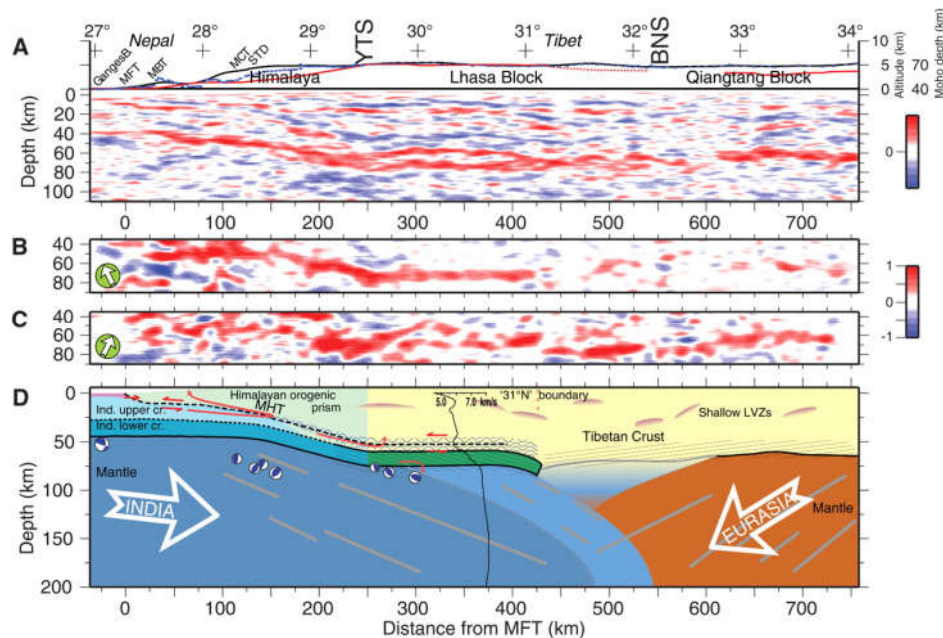
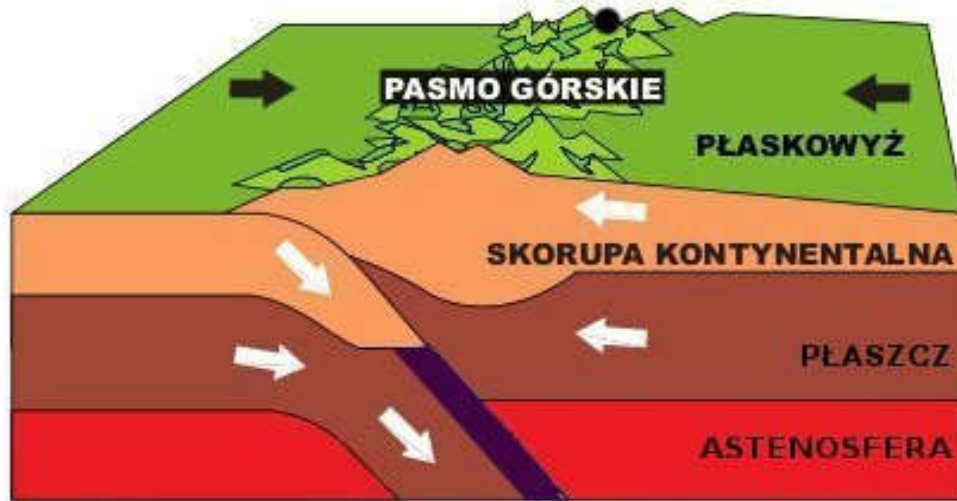


B Vertical displacements



The moment magnitude (M_w) = 9.0 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake occurred off the coast of northeastern Japan. Combining Global Positioning System (GPS) and acoustic data, we detected very large sea-floor movements associated with this event directly above the focal region. An area with more than 20 meters of horizontal displacement, that is, four times larger than those detected on land, stretches several tens of kilometers long along the trench; the largest amount reaches about 24 meters toward east-southeast just above the hypocenter. Furthermore, nearly 3 meters of vertical uplift occurred, contrary to observed terrestrial subsidence. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1207401>

Placche in collisione: continentale vs continentale (Himalaya e Alpi)



John Nábelek, et al. Science **325**, 1371 (2009);

Foto: J. Karwowski, M. Karwasz, M. Visintainer

Placche in collisione: oceanica vs continentale in moto a ovest (Giappone)



Giappone

La placca pacifica si muove a ovest

Angolo di subduzione: 45°

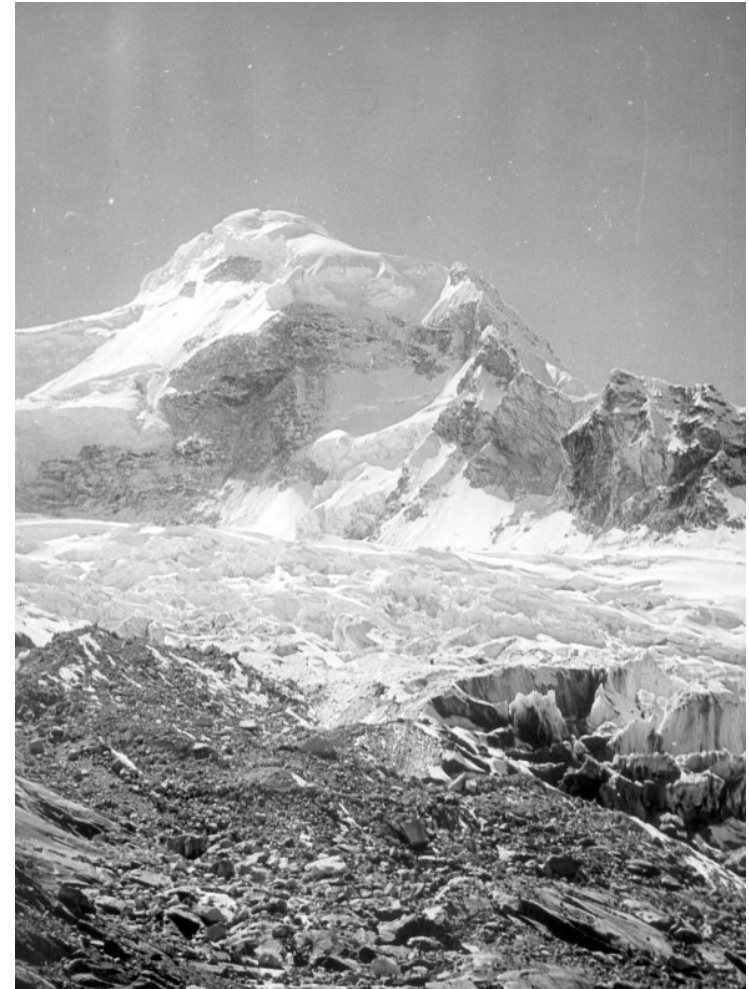
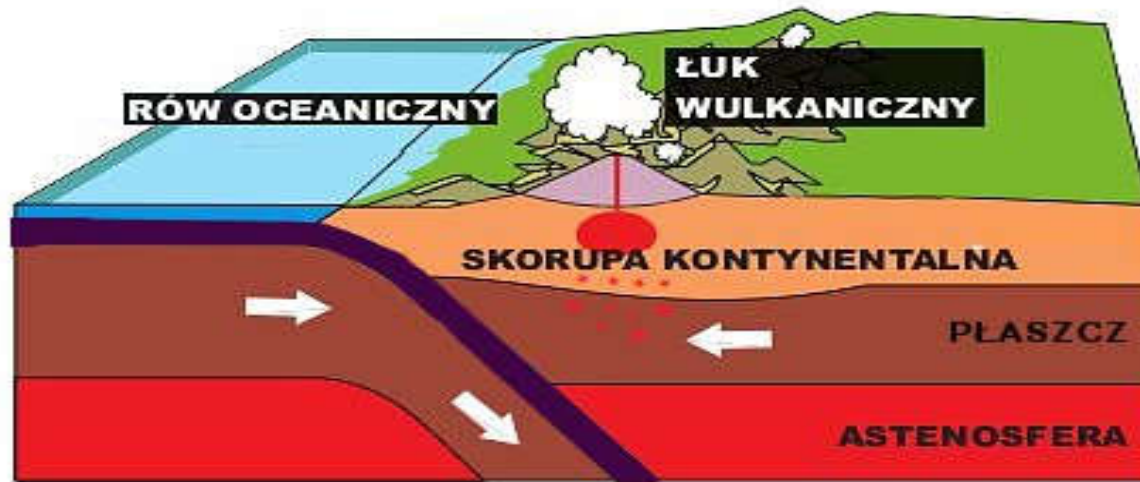
Vulcani vicini alla costa

Due fogli di carta in collisione



Foto: Maria Karwasz

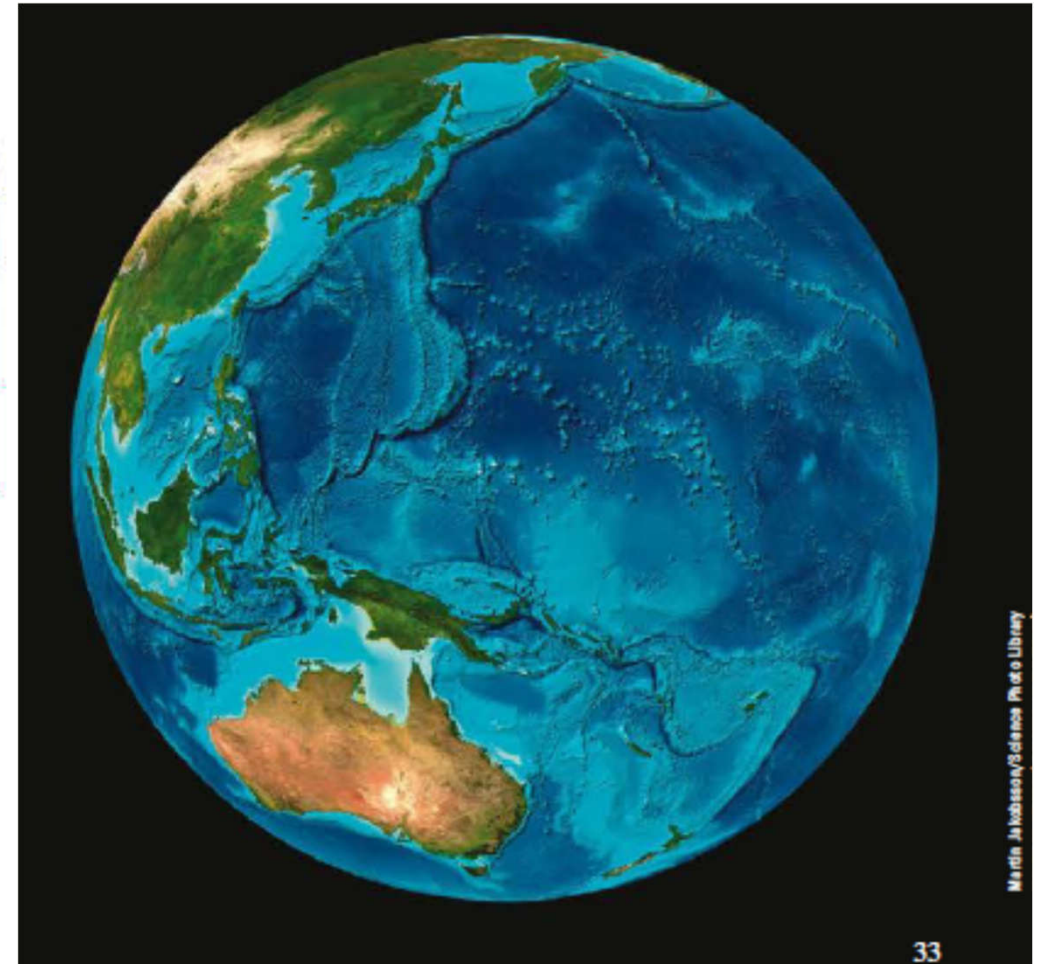
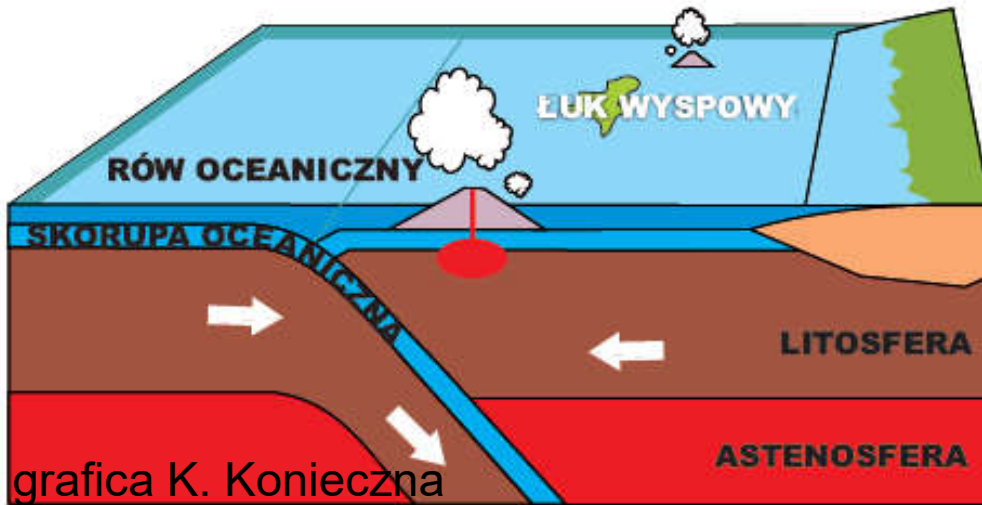
Placche in collisione: oceanica vs continentale in moto a Est



USGS

Ande (7 mila metri)
Angolo di subduzione: 15-25°
Vulcani a 100 km dalla costa

Placche in collisione: oceanica vs oceanica (Isole Marianna)



Physics World, no 3. (2012)

https://it.wikipedia.org/wiki/Isole_Marianne

Subdukcja z zachodu na wschód: Andy

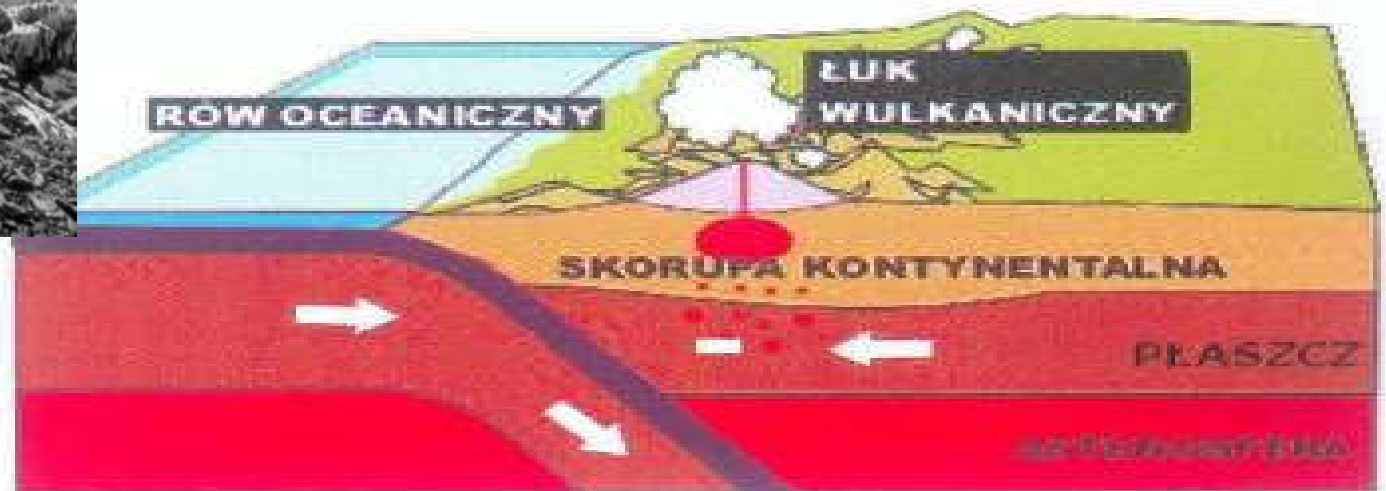


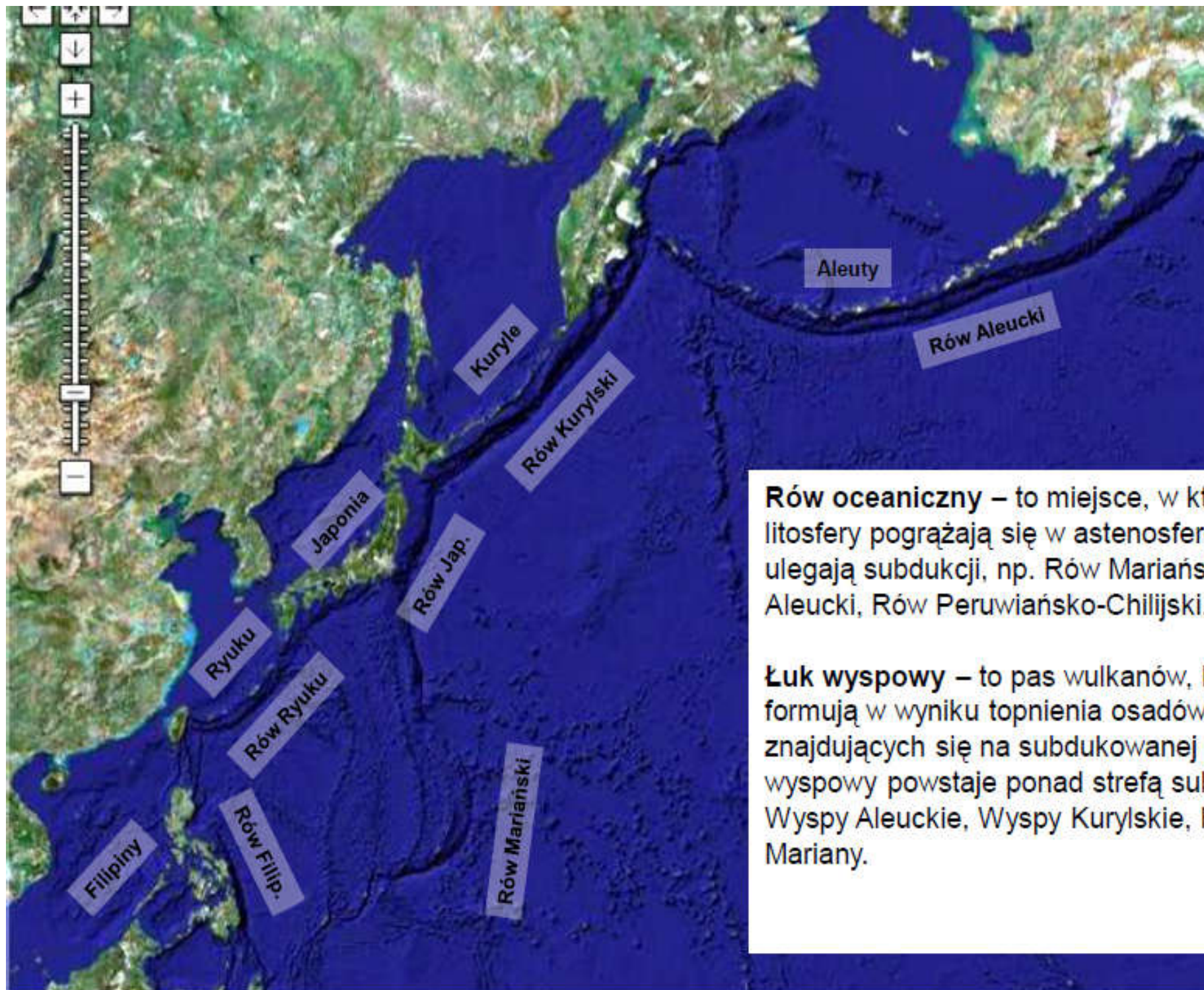
Foto: dr J. Zaremba



Płyta oceaniczna, z zachodu, wpada pod płytę kontynentalną, pod kątem 25-35°.

Pas wulkanów tworzy się 80-100 km od wybrzeża



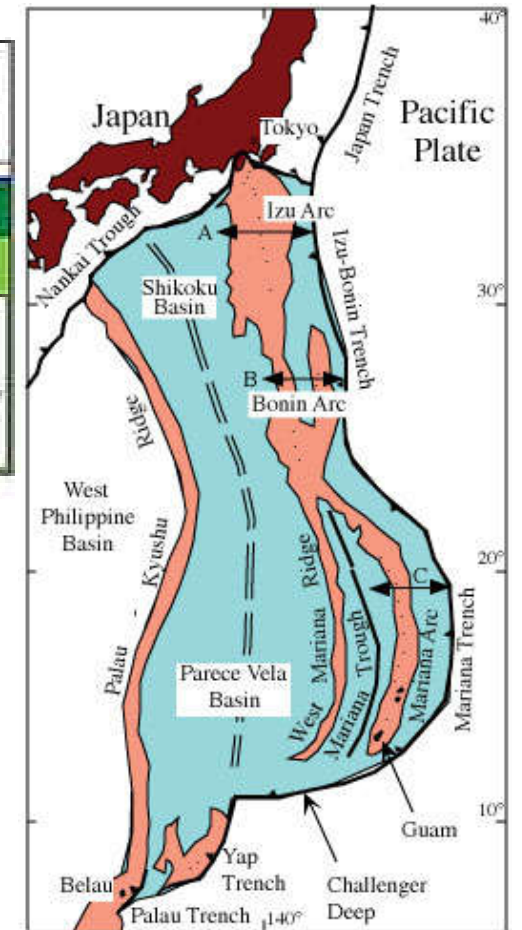
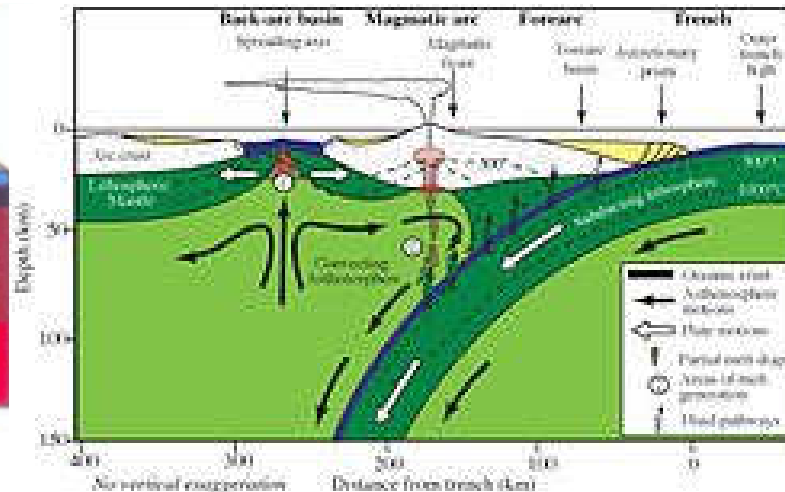
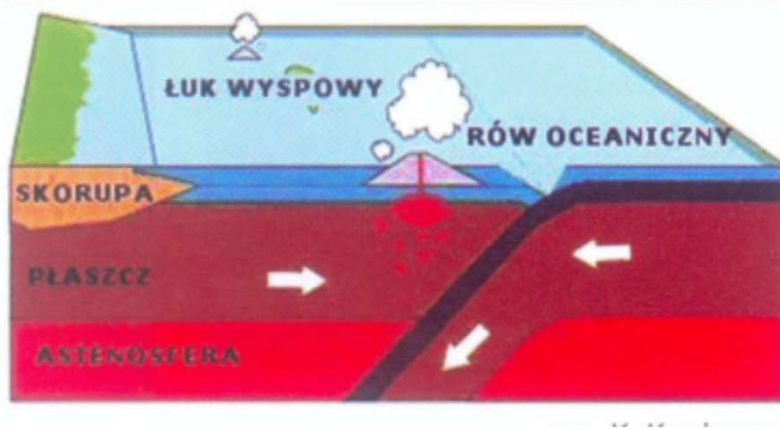


Rów oceaniczny – to miejsce, w którym płytka litosfery pogrążają się w astenosferę czyli ulegają subdukcji, np. Rów Mariański, Rów Aleucki, Rów Peruwiańsko-Chilijski.

Łuk wyspowy – to pas wulkanów, które formują w wyniku topnienia osadów znajdujących się na subdukowanej płycie. wysp powstaje ponad strefą subdukcji Wyspy Aleuckie, Wyspy Kurylskie, Filipiny, Mariany.

Subdukcja dwóch płyt oceanicznych

→ *typ mariański* – w tym przypadku kora oceaniczna wciągana jest pod inną krę oceaniczną: w strefie zderzenia powstaje rów, głęboki nawet na 10 km (Kurylski, Mariański itd.).

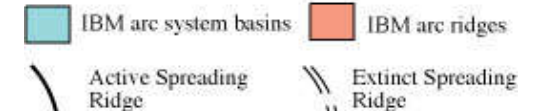


J. Chojnacka, G. Karwasz, *Geografia w Szkole*,

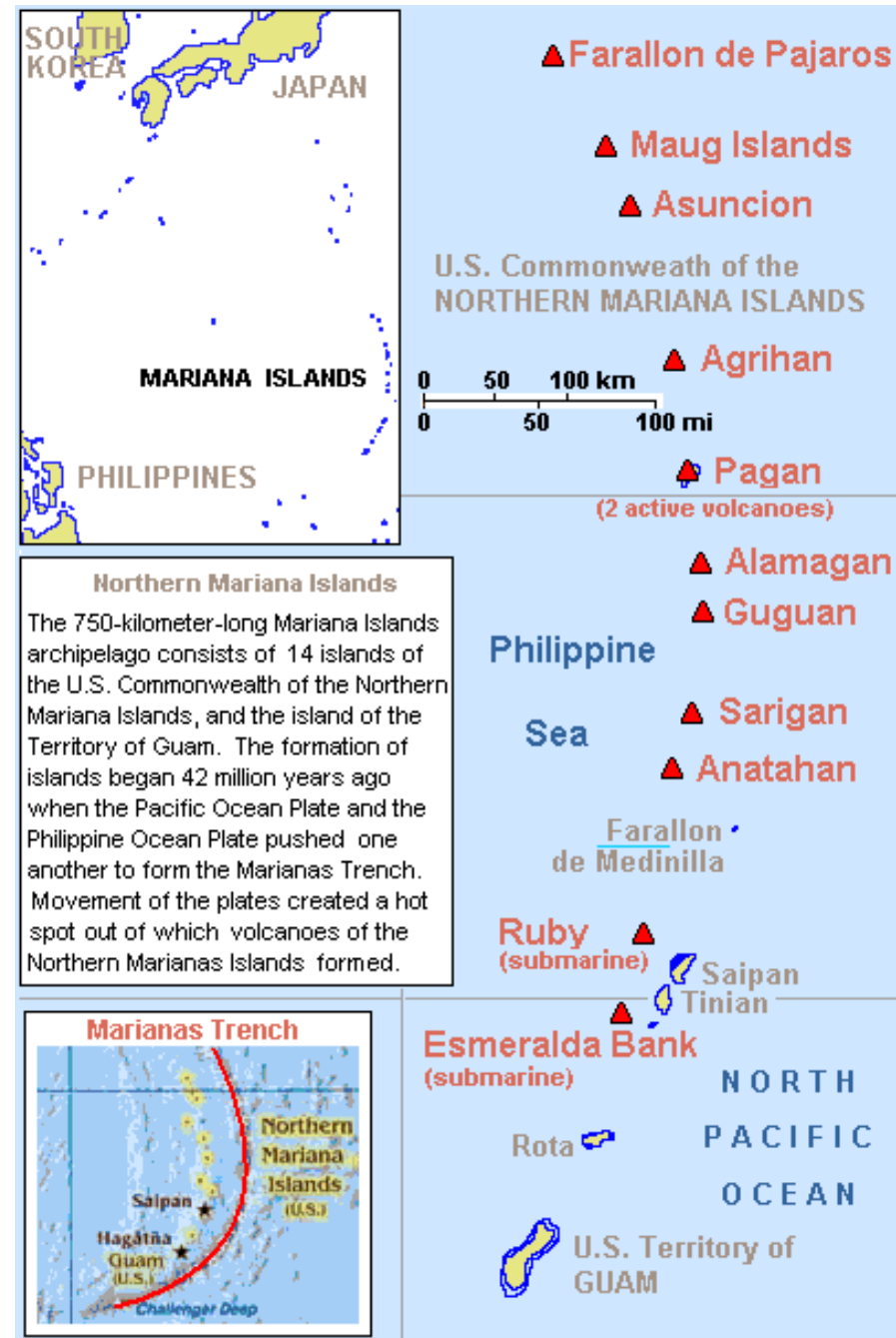
Układ łukowy Izu-Bonin-Marianna powstał w wyniku subdukcji płyty zachodniego Pacyfiku: młodszą litosferę na północy i starszą litosferę na południu, w tym najstarszą (~170 milionów lat) skorupą oceaniczną.

Tempo subdukcji waha się od ~2 cm rocznie na południu do 6 cm na północy.

https://en.wikipedia.org/wiki/Izu%E2%80%93Bonin%E2%80%93Mariana_Arc



Wyspy Mariańskie



toccando il fondo alla profondità di 10 924 m

Wikid77 - Derived by cropping US Government (USGS)

map: http://vulcan.wr.usgs.gov/Images/Gif/MarianIslands/Maps/map_mariana_islands_volcanoes.gif

https://it.wikipedia.org/wiki/Isole_Marianne#/media/File:Rota_Island_in_the_Commonwealth_of_Northern_Mariana_Islands.jpg

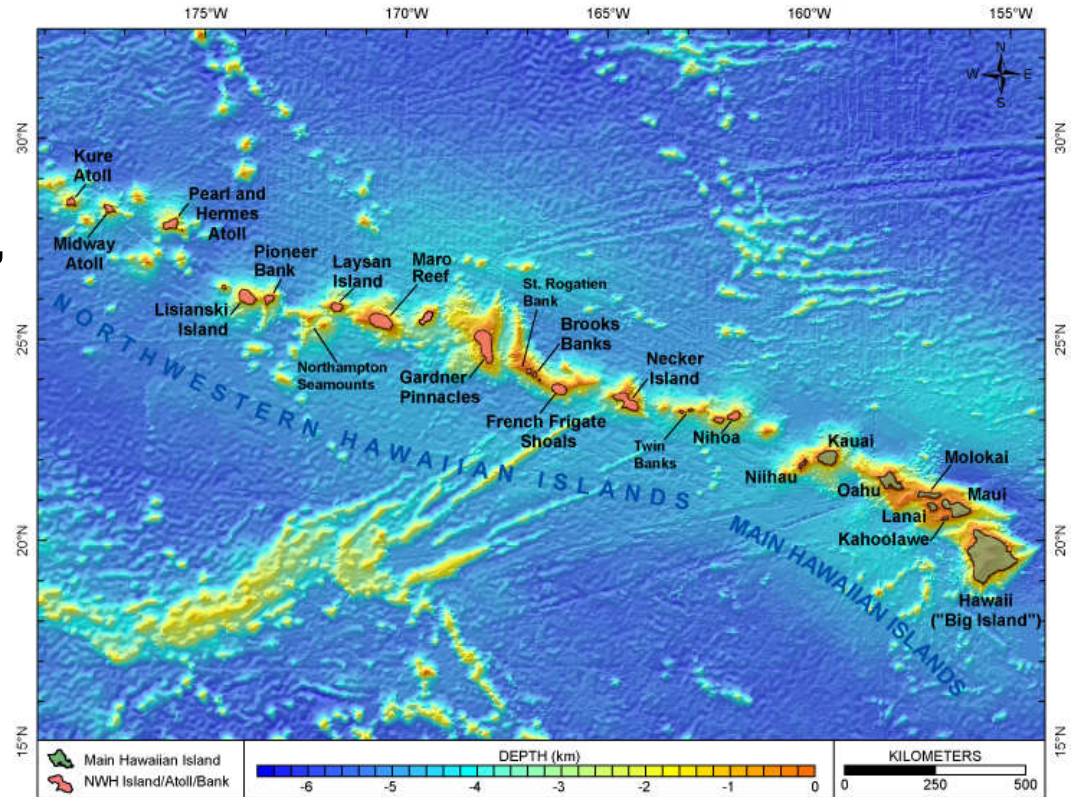
<https://www.travel365.it/isole-marianne-cosa-vedere-periodo-migliore.htm>

Wulkaniczna „świeczka”

→ Wyspy Hawajskie mają pod spodem wędrującą świeczkę, które „wypala” poszczególne wulkany

Największy wulkan tarczowy, Mauna Loa, wybuchł ponownie w 2022

29 listopada 2022, Business Insider



https://www.soest.hawaii.edu/pibhmc/NWHI_images/NWHI.jpg



Mauna Loa. Foto: Handout / US Geological Survey / AFP / East News

Obracające się płyty



**Między Scyllą
a Charybdą,
czyli o Homerze
i wulkanach**

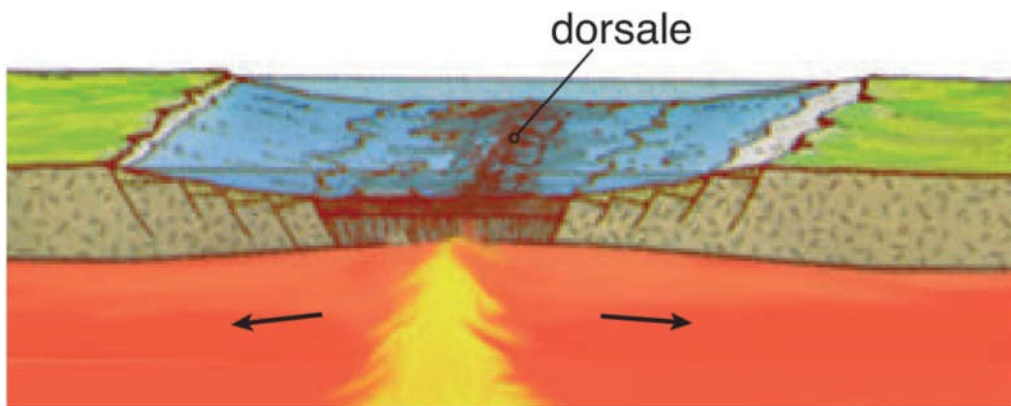
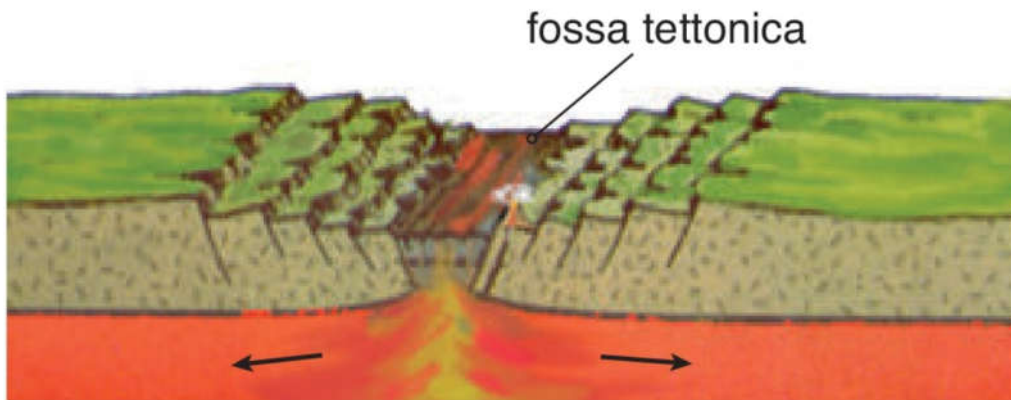
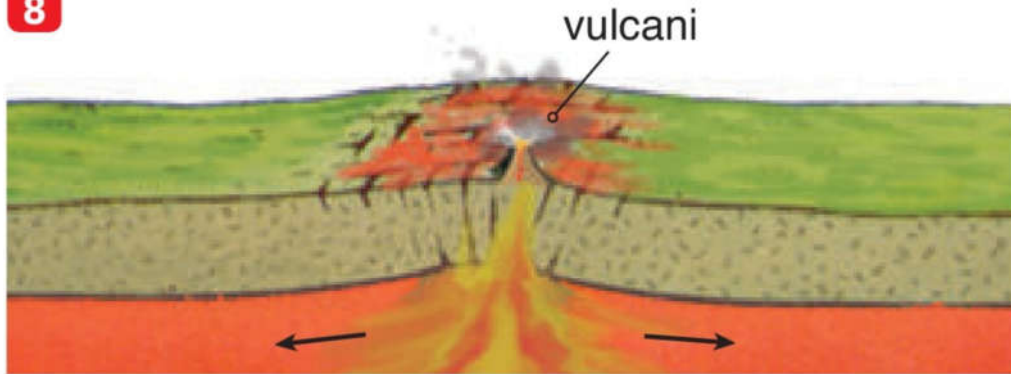
G. Karwasz, J. Chojnacka
Geografia w Szkole, 2014

Epicentrum trzęsienia ziemi z 1908 roku było umiejscowione dokładnie między przylądkiem Scylli i Charybdy, jakby dwie tektoniczne kry zawadziły o siebie narożnikami. Źródło: http://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto_di_Messina_del_1908

Kontynenty się rozsuwają

Foto M. Karwasz

8



Kontynenty się oddalają od siebie, a „blizna” się poszerza

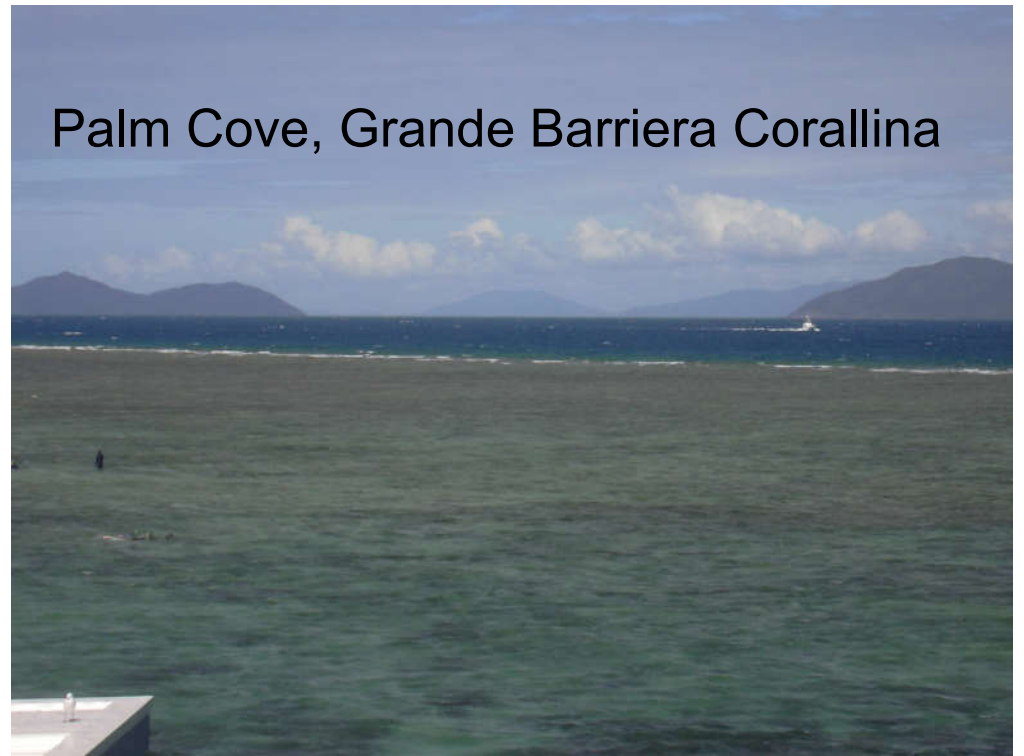


Monte Kosciuszko, Australia





Granite Gorge, Queensland, 260 mln anni



Palm Cove, Grande Barriera Corallina



Tidbinbillar



Talbingo



Rozsuwanie się płyt: pasma granitowe

www.preteristarchive.com



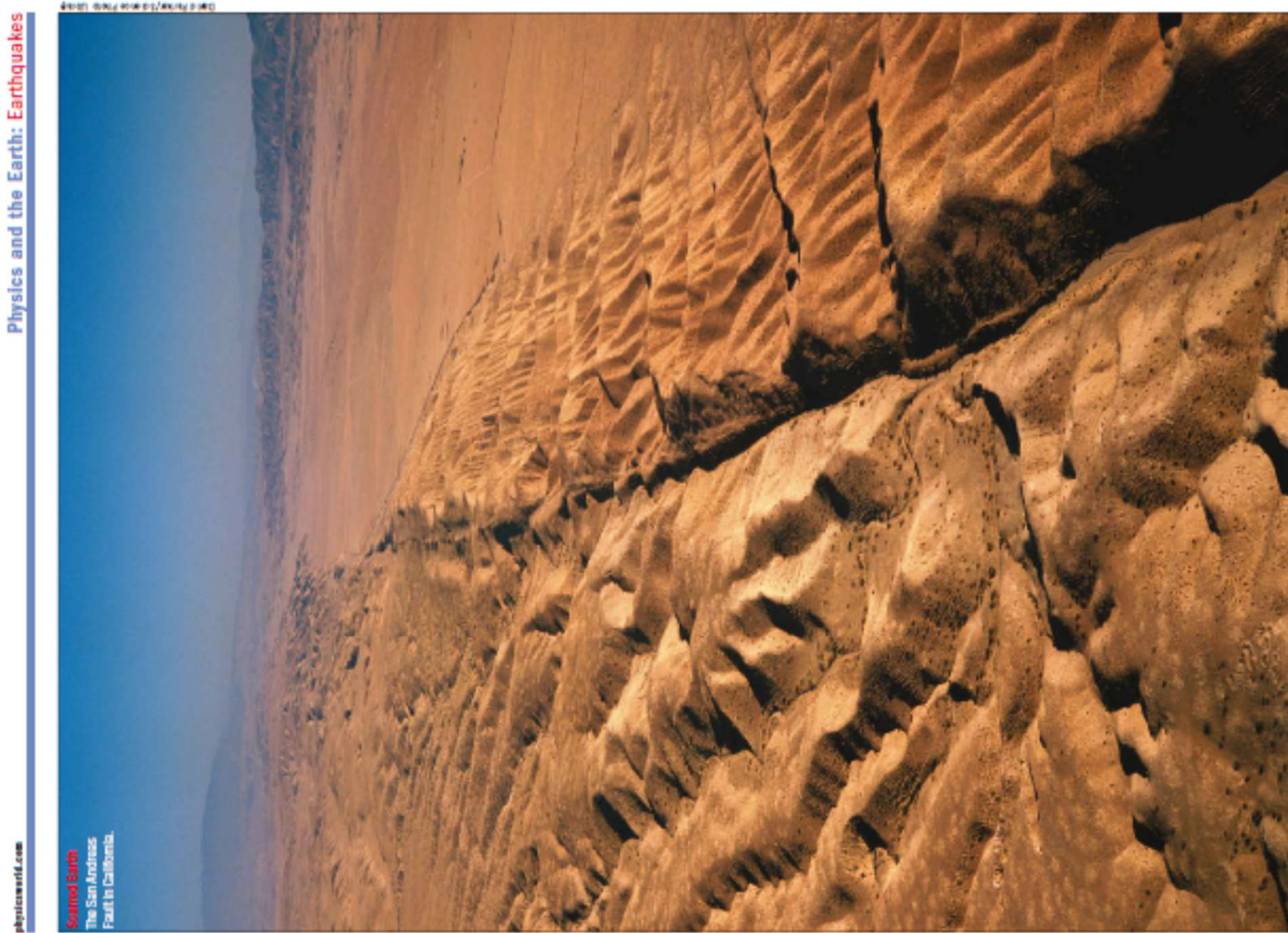
Półwysep Synaj (foto M. Karwasz)

Rozsuwanie się płyt: pasma granitowe



Alpy Australijskie – wiek około 200 mln lat (foto Maria Karwasz 2006)

✓ Uskok św. Andrzeja, Kalifornia



physicsworld.com

Scanned Earth
The San Andreas
Fault in California.

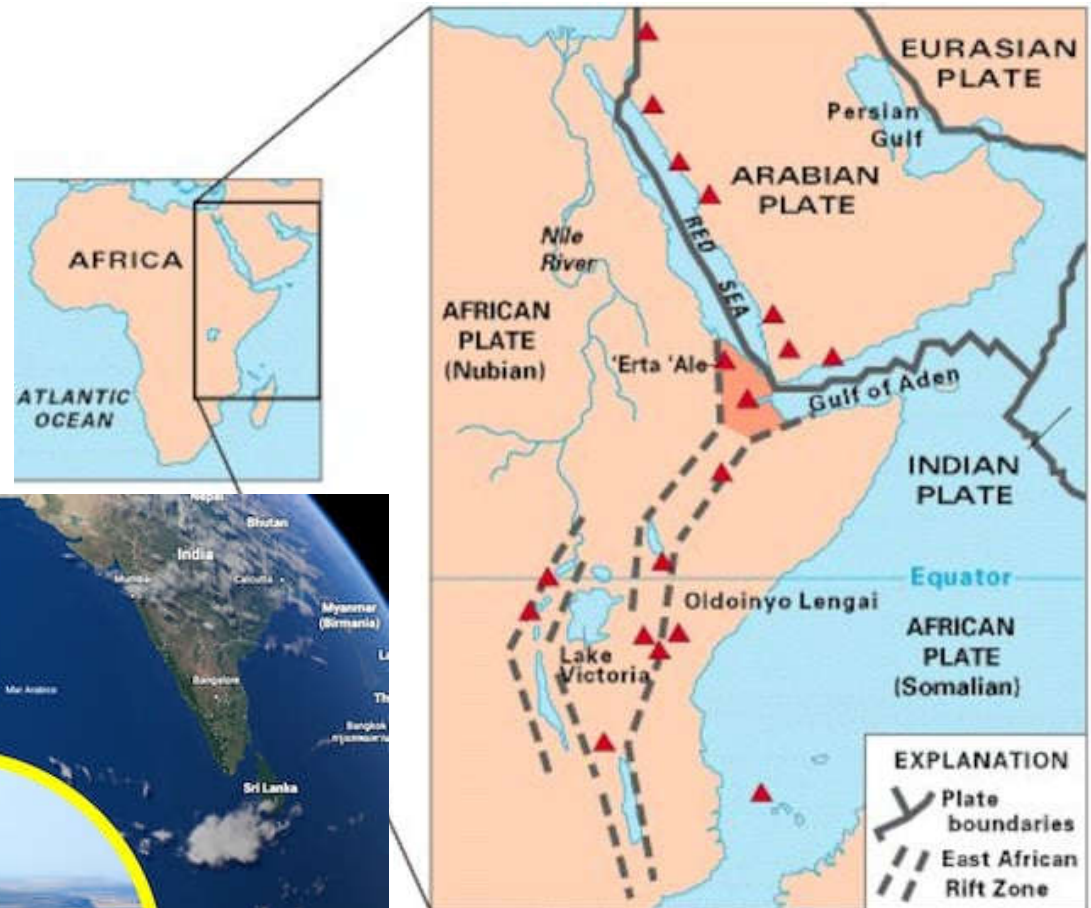
Physics and the Earth: Earthquakes

Physics World March 2013

59

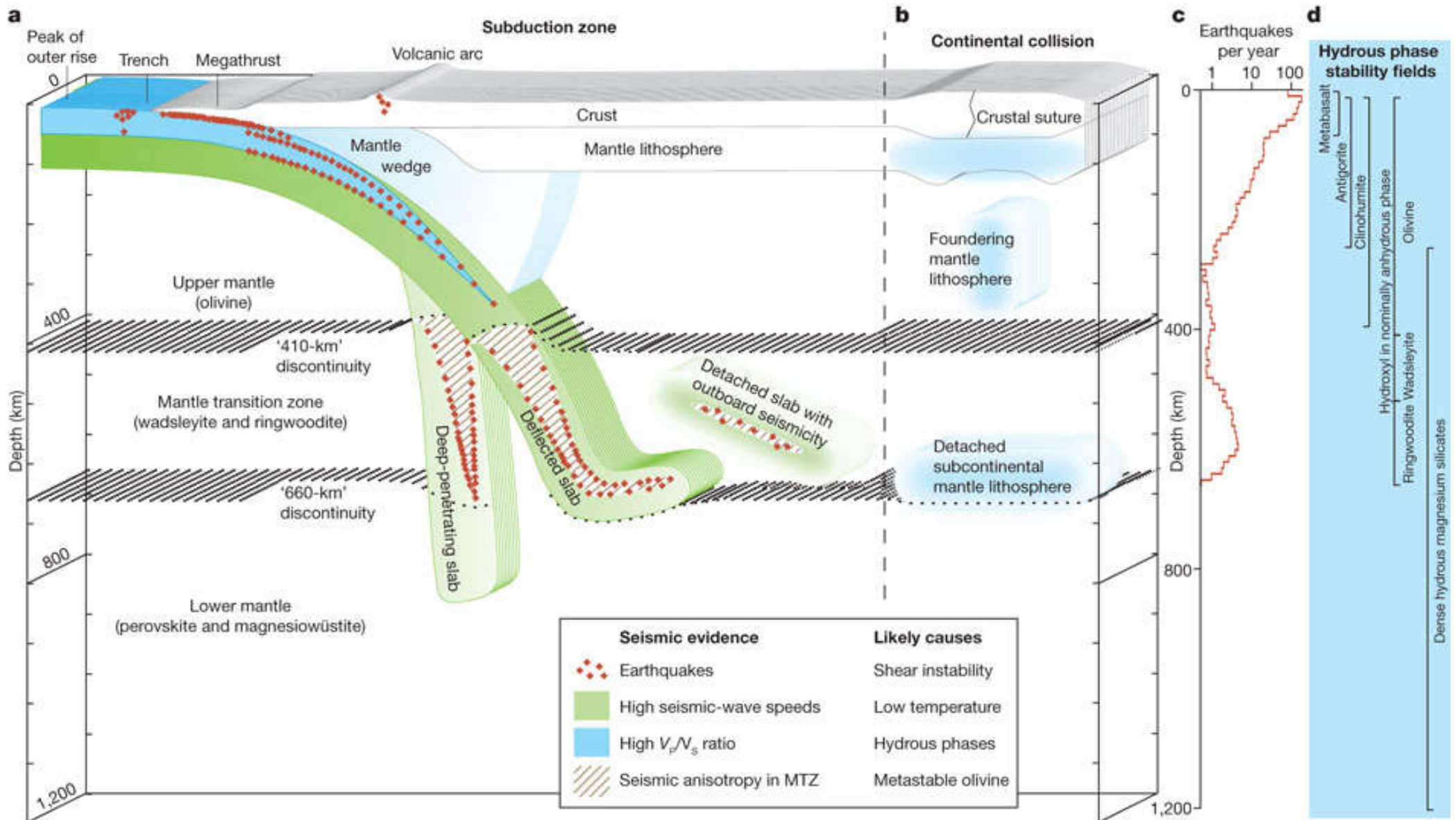
W wielu miejscach, jak np. w Kalifornii, obserwujemy ruchy mniejszych płyt

Afryka dzieli się na dwie części

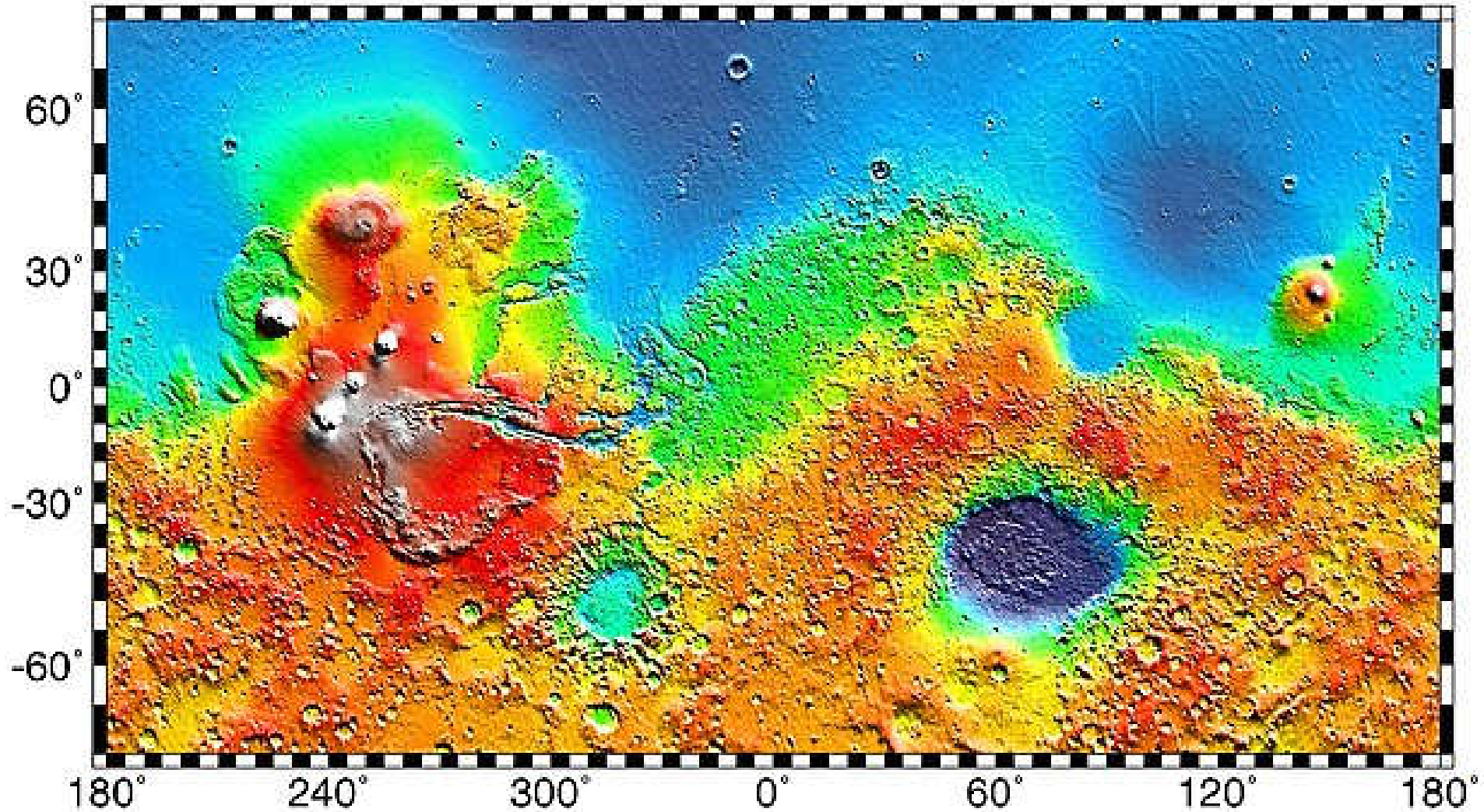


<https://www.geopop.it/un-nuovo-oceano-dividera-in-due-lafrica-quando-e-come-succedera/>
<https://www.youtube.com/watch?v=iAkYFXqH5s4>

so, the vertical structure is getting quite complex...



Wulkan na Marsie



https://en.wikipedia.org/wiki/Olympus_Mons

Data from the [Mars Orbiter Laser Altimeter](#) on NASA's [Mars Global Surveyor](#). Whites and browns indicate the highest elevations (+12 to +8 km); followed by pinks and reds (+8 to +3 km); yellow is 0 km; greens and blues are lower elevations (down to -8 km).

Wulkany na Wenus i Europie

Źródło: A. Ciarla i in./UCLA GCOI/W. M. Kock Obraz

15.03

Krążąc wokół Wenus, sonda Magellan wykonała w latach 1990-1992 radarową mapę topograficzną prawie całej jej powierzchni. Niektóre miejsca zobrazowała parokrotnie. Dopiero teraz, po 30 latach, porównując pary map wykonanych w odstępie kilku miesięcy, odkryto, że krater jednego z wulkanów, Maat Mons, w tym czasie się poszerzył, a jego dno pociemniało (Fot. obok): Mamy silny dowód

blisko gwiazdy, więc zapewne mają



Źródło: R. Herrick, S. Hensley Science 379, 1206

Dryf kontynentów: bardzo prosty

Płyty tektoniczne Ziemi
to takie większe
lodowe kry:
niektóre lżejsze i grubsze
inne ciężkie i cienkie.
A że są duże, to pływają
powoli – raz na 300 mln lat!

Gdzie się zderzą – powstają
pasma górskie.



Fot. 5. Tektonika płyt kontynentalnych i oceanicznych pływających po astenosferze przypomina „tektonikę” kry lodowej. Kry z lżejszego materiału (a śniegu na wierzchu) są wyższe, ale też głębiej zanurzone; kry z wody morskiej (trzy małe widoczne w przerębli z kaczkami) są ciężkie i ledwie wystają nad powierzchnię wody. Kry zderzają się i nawarstwiają (fot. M. Karwasz)

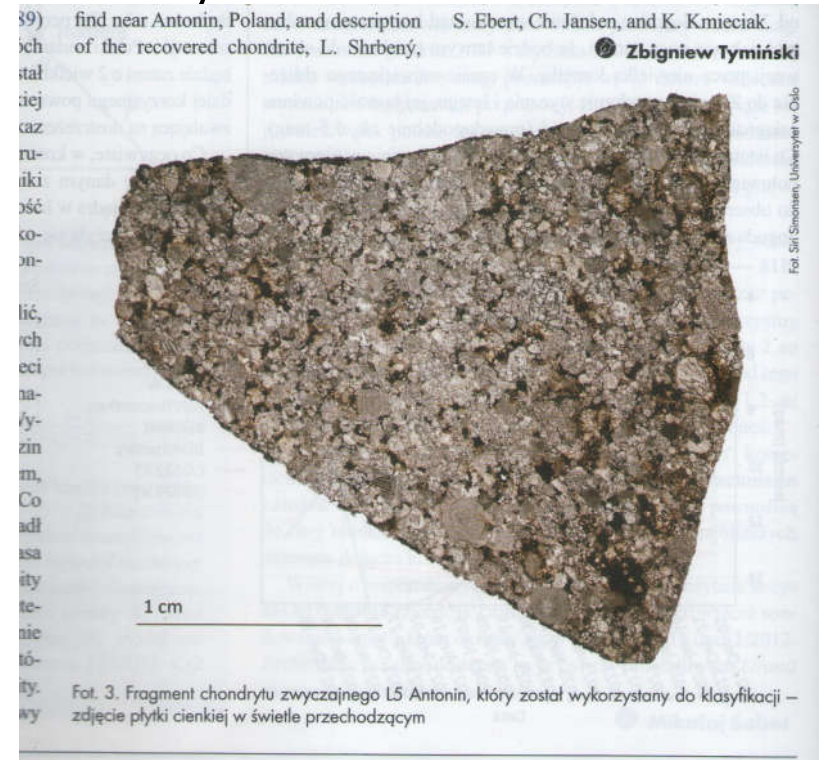
P.S. Meteoryty

https://pl.wikipedia.org/wiki/Chondryty_oliwinowo-bronzytowe

- [Oliwin](#) 25% – 40%
- [Piroksen](#) rombowy 20% – 35%
- [Plagioklaz](#) 5% – 10%
- [Stop](#) żelazowo-niklowy 16% – 21%
- [Troilit](#) ok. 5%
- Bronzyt (MgFeSiO_3)

Dating using [\$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}\$](#) gives an estimated age of $4,566.6 \pm 1.0$ [Ma](#),^[6] matching ages for other chronometers

<https://en.wikipedia.org/wiki/Chondrite>



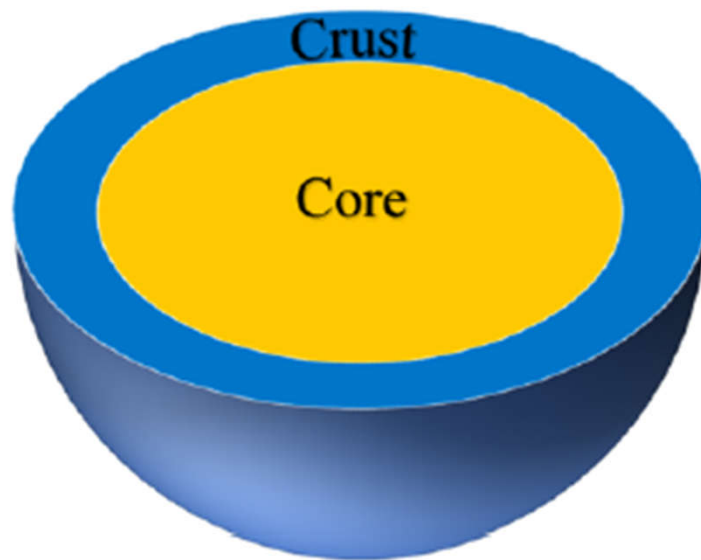
Neutron stars

On Neutron Stars' Crusts Breaking and Gravitational Waves Emission

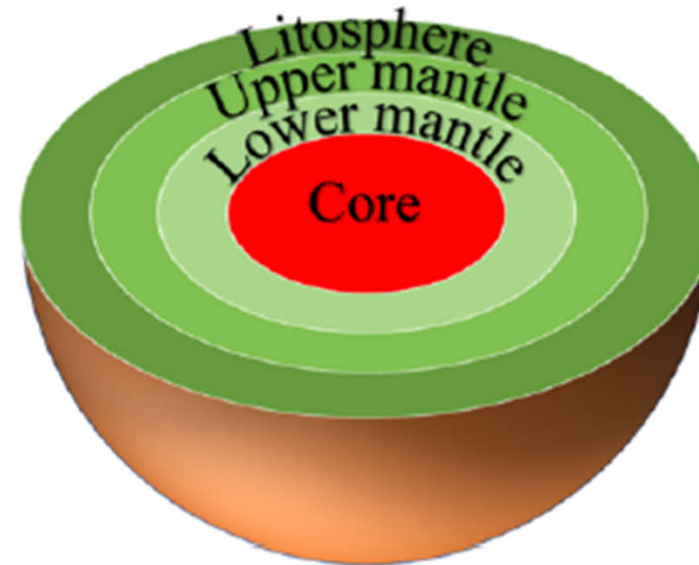
Elia Giliberti, PhD Thesis, Università Degli Studi di Milano, a/a 2019/2020

The model

31



Neutron star



Earth

Figure 2.4: We model a NS as an object with only two layers: a fluid core and an elastic crust. However, the proposed equations allow to introduce an arbitrary large number N of elastic layers: better comprehension of the elastic properties of a NS crust will allow to introduce additional layers. Our model allows to treat continuous stratification of both density and elastic coefficients.



Trentino...

