

A scenic view of Mount Fuji at sunset. The mountain is covered in snow and its peak is illuminated by the setting sun, creating a warm glow. The sky is filled with colorful clouds in shades of blue, orange, and pink. In the foreground, a calm lake reflects the mountain and the sky. The water is still, and the reflection is clear. The overall atmosphere is peaceful and majestic.

a cura di S. Furlani

# I MOVIMENTI DELLA TERRA

# ARGOMENTI DELLA LEZIONE

# I MOVIMENTI DELLA TERRA

---

- × I processi endogeni ed il paesaggio
- × I movimenti della crosta terrestre
- × La tettonica a placche
- × Il magmatismo
- × Vulcani

# PROCESSI ENDOGENI E PAESAGGIO



Plasticità, isostasia, deriva dei continenti

# I MOVIMENTI DELLA CROSTA TERRESTRE

# LA TERRA IN MOVIMENTO

---

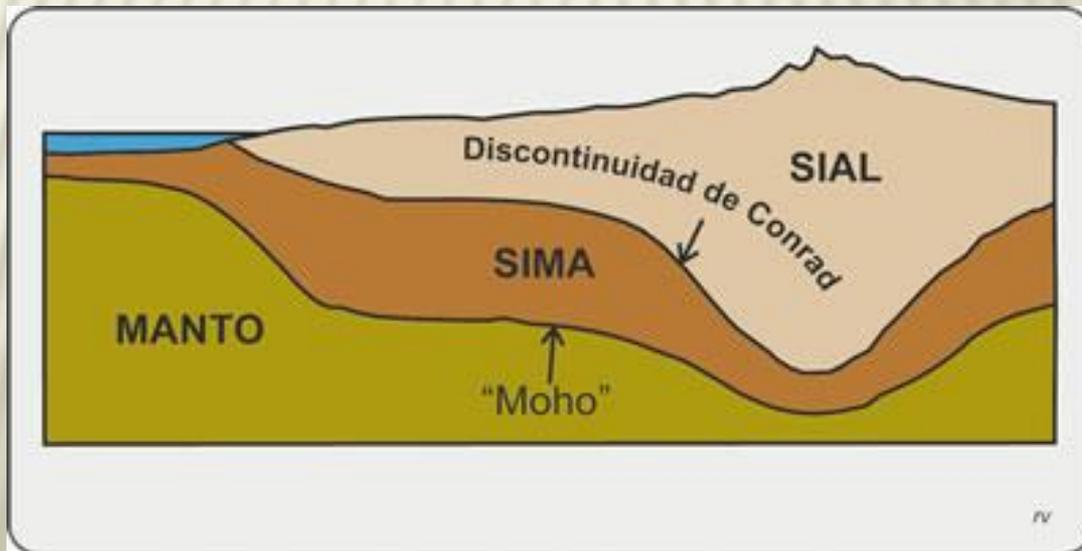
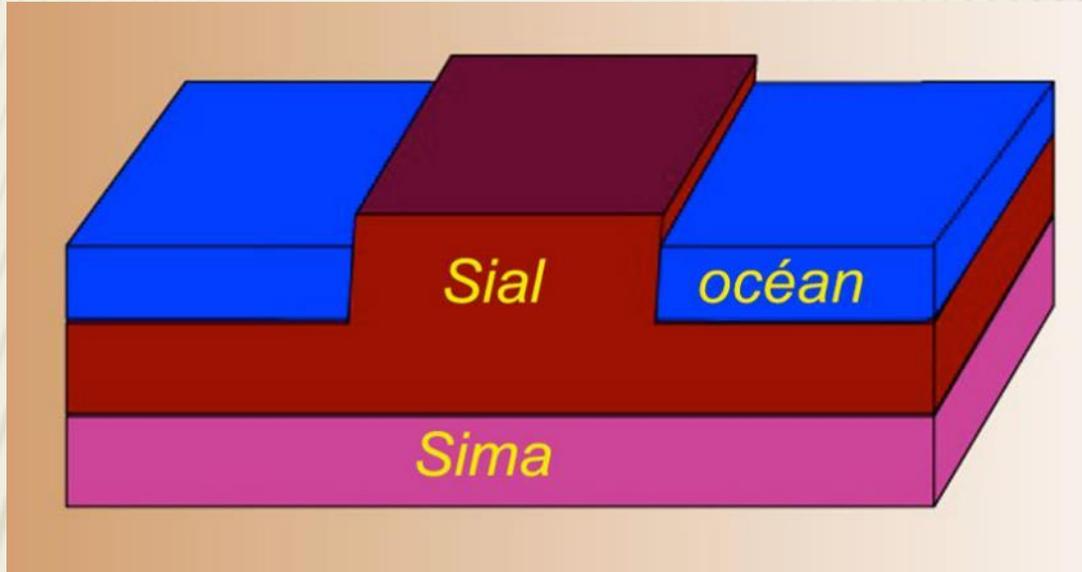
- ✘ Solo poche decine di anni or sono, la crosta terrestre era considerata rigida, priva di movimenti, con piccoli movimenti legati alle variazioni del livello marino o all'orogenesi.
- ✘ Si riteneva, in generale, che l'attuale configurazione dei rilievi era il risultato di movimenti avvenuti nel passato geologico, in seguito al consolidamento della crosta terrestre.

# SIAL E SIMA

---

- × Le rocce ignee all'interno della crosta terrestre sono, grossomodo, distinte in due strati a diversa densità.
  - + **Sima**: strato inferiore che corrisponde alla crosta oceanica, ricca di silice e magnesio. E' presente nei fondi oceanici ed in parte anche alla base dei continenti. Ha composizione basaltica, colore scuro e densità media =  $3 \text{ g/cm}^3$ .
  - + **Sial**: strato superiore che corrisponde alle masse continentali e «galleggia» sul sima. Questo strato è detto **sial**, è costituito da silice ed alluminio, composizione granitica e densità media =  $2.8 \text{ g/cm}^3$ .

# SIAL, SIMA



Il movimento dei continenti

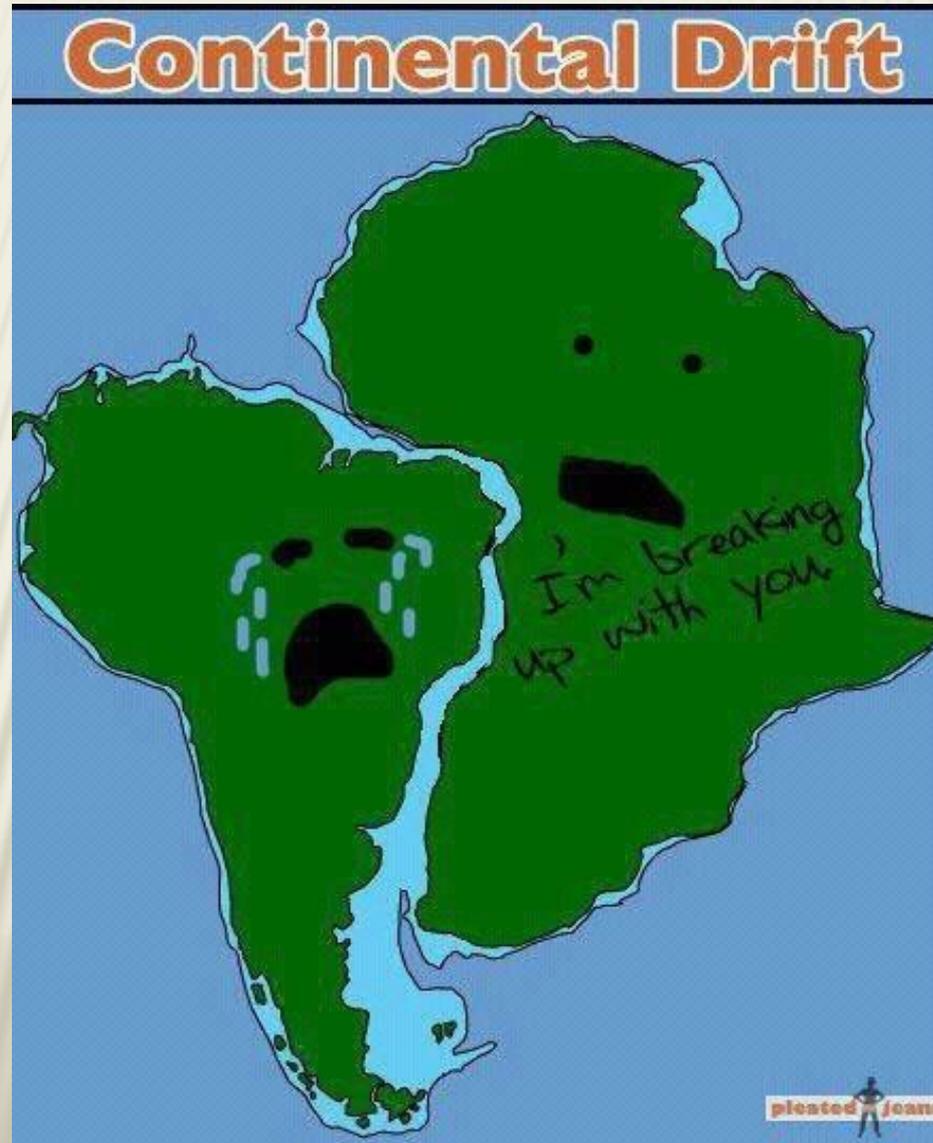
# LA DERIVA DEI CONTINENTI

# CONTINENTI IN MOVIMENTO

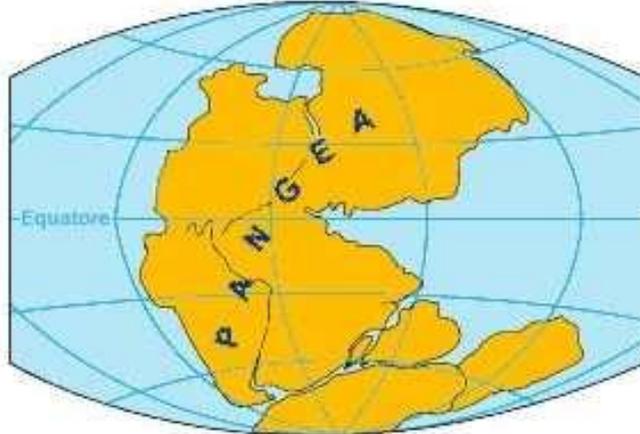
---

- ✘ Plasticità ed isostasia permettono i movimenti della crosta terrestre
- ✘ Forma e posizione dei continenti infatti sono mobili, considerando la scala del tempo geologico

# CONTINENTI STACCATI?



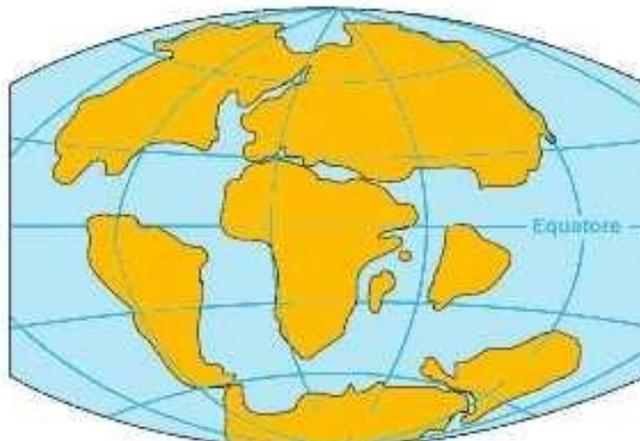
# LA DERIVA DEI CONTINENTI



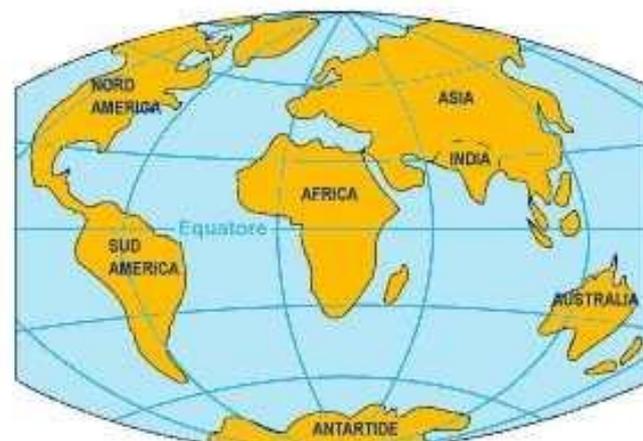
**PERMIANO**  
225 milioni di anni



**TRIASSICO**  
200 milioni di anni



**CRETACICO**  
65 milioni di anni



**PRESENTE**

# UN PUZZLE AL CONTRARIO

- ✘ I pezzi del puzzle si staccano e formano gli attuali continenti

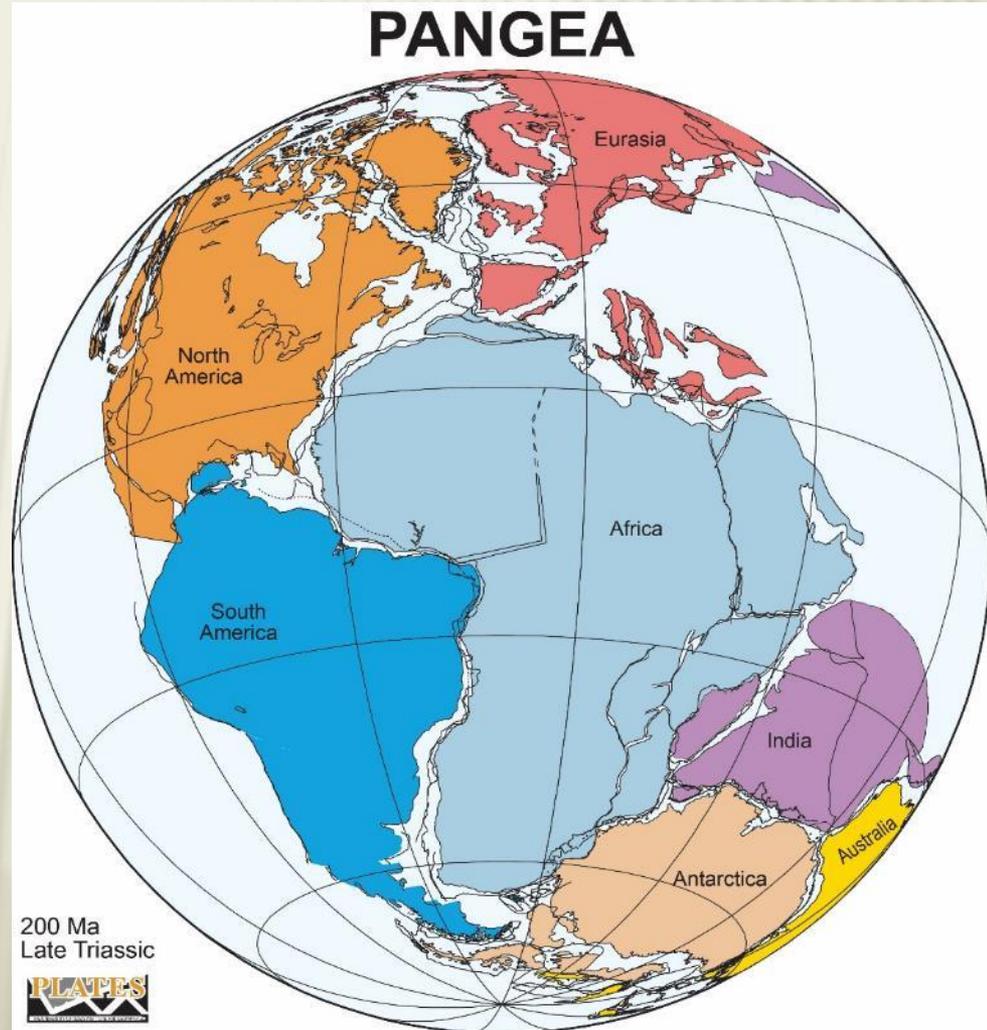
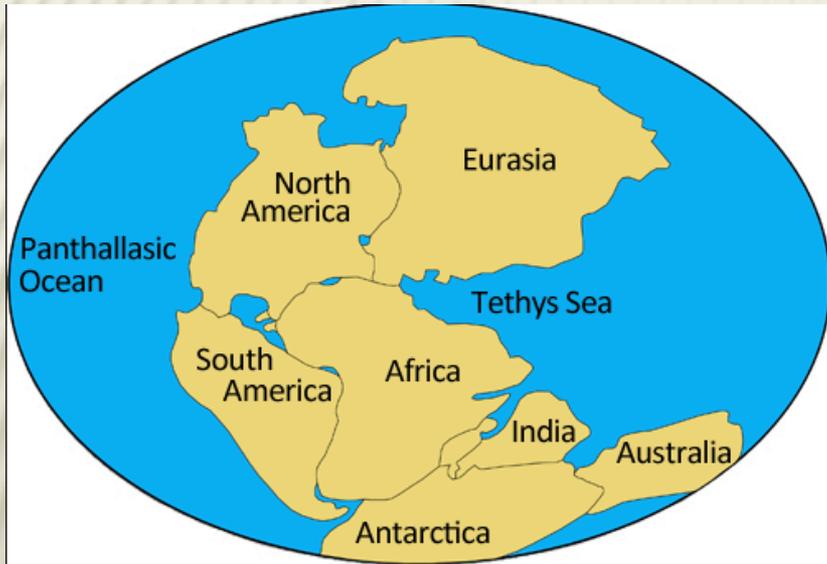


# PANGEA

---

- ✘ 1590: supercontinente (Abramo Ortelio)
- ✘ 1620: somiglianza tra America e Africa (Francis Bacon)
- ✘ 1874: movimento dei continenti (Domenico Lovisato)
- ✘ 1930: Deriva dei continenti (Alfred Wegener)
- ✘ 1960: Tettonica a placche (Hess e altri)

# PANGAEA



# STATI ATTACCATI?



# IDEA RESPINTA FINO A POCHI DECENNI FA

- ✗ L'idea di continenti che si muovono è stata respinta fino a pochi anni fa per varie cause:
  - + L'età della terra era troppo piccola per giustificare movimenti così immensi
  - + Non c'erano a disposizione modelli che spiegassero le dinamiche e i processi responsabili dello spostamento
  - + Non c'erano dati e misure ad avvallare queste idee
  - + La crosta terrestre è troppo rigida per permettere tali movimenti

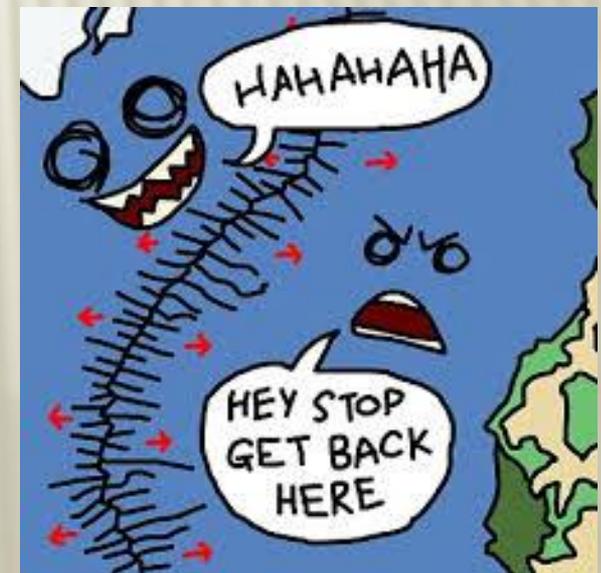
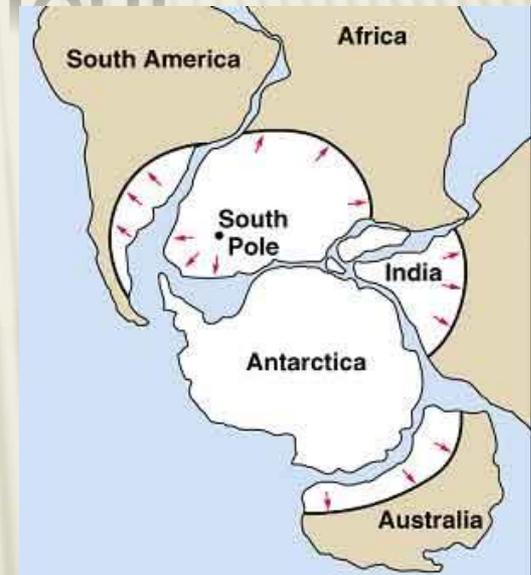
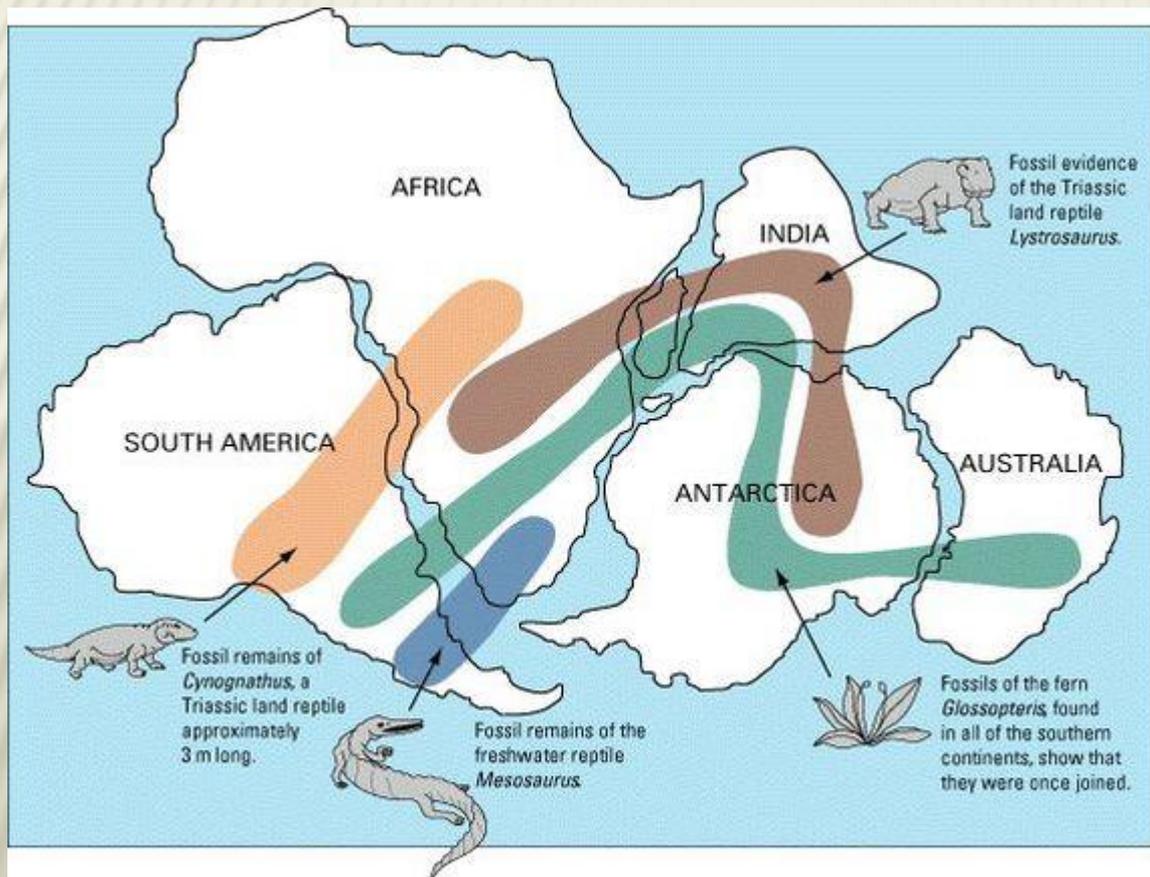


# WEGENER E IL SUPERCONTINENTE PANGEA

- ✘ A partire dagli anni '30, Wegener ipotizzò che circa 250 milioni di anni fa Pangea si divise in grandi blocchi a causa di:
  - + Perfetta corrispondenza geometrica dei margini continentali
  - + Affinità dei caratteri petrografici e paleontologici sui margini continentali



# AFFINITÀ GEO-PALEONTOLOGICHE

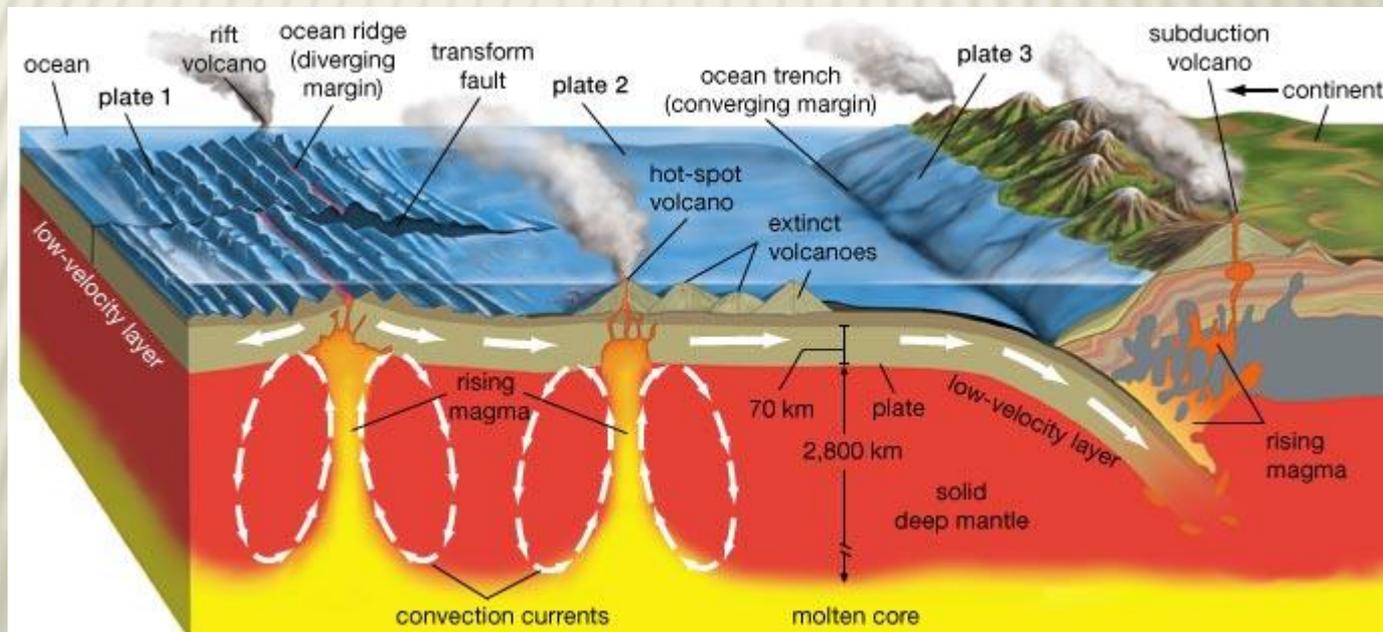


Il movimento delle placche

# LA TETTONICA A PLACCHE

# ...QUALCOSA È CAMBIATO

- ✘ ...sono stati raccolti molti dati geologici, geofisici ed oceanografici sui fondi degli oceani e sul sima che hanno spinto d individuare un **lento movimento di convezione termica** in grado di far emergere il magma profondo e spingere in profondità le rocce crostali rifuse



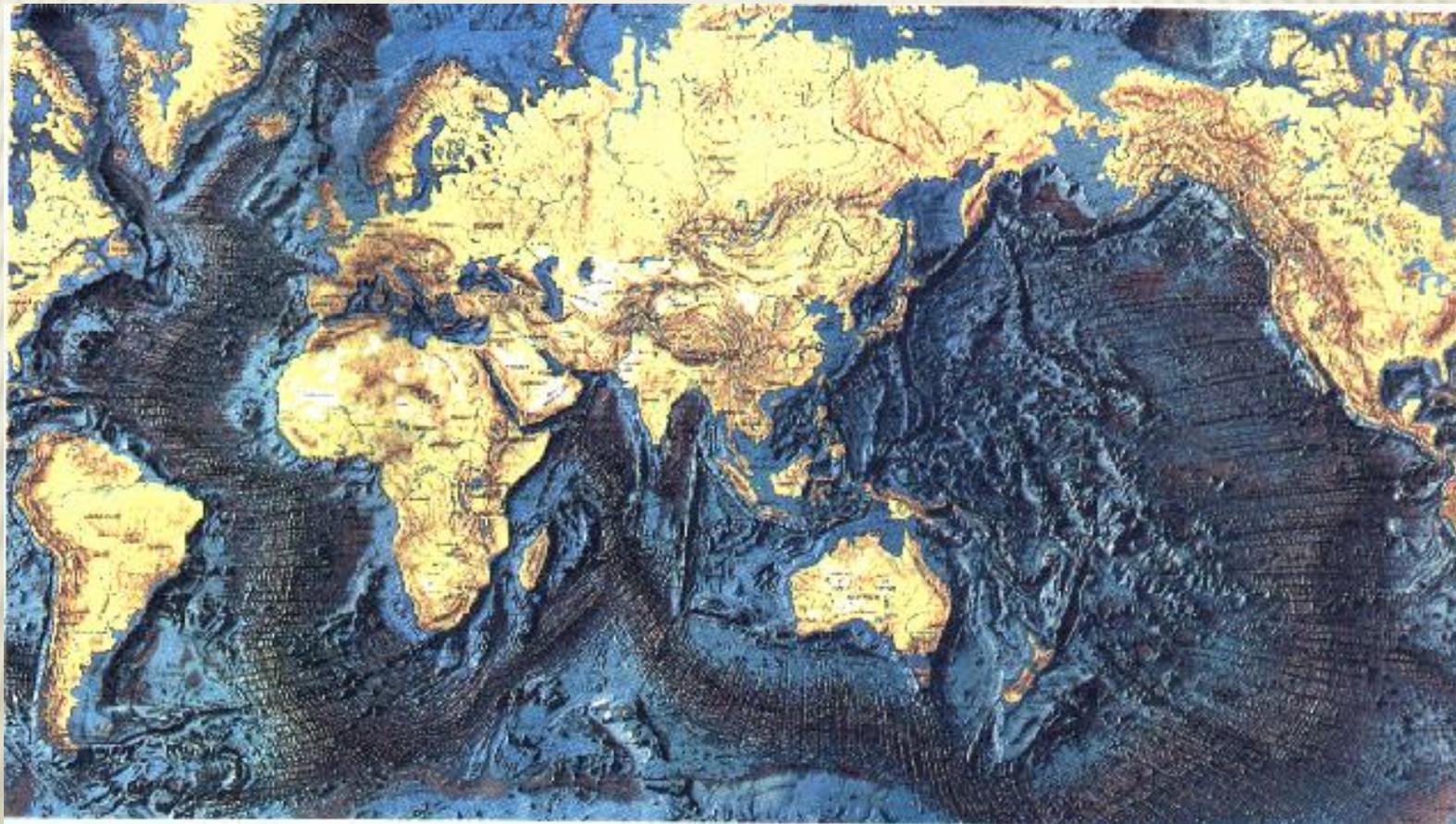
# DEFINIZIONE

---

- × La **tettonica delle placche** è il modello di dinamica della Terra su cui concorda la maggior parte degli scienziati che si occupano di Scienze della Terra;
- × è in grado di spiegare, in maniera interdisciplinare, fenomeni diversi che interessano la crosta terrestre tra cui:
  - + l'attività sismica,
  - + l'orogenesi,
  - + la disposizione areale dei vulcani,
  - + le variazioni di chimismo delle rocce magmatiche,
  - + la formazione di strutture come le fosse oceaniche e gli archi vulcanici,
  - + la distribuzione geografica delle faune e flore fossili durante le ere geologiche,
  - + i motivi per cui le attività vulcaniche e sismiche sono concentrate in determinate zone.

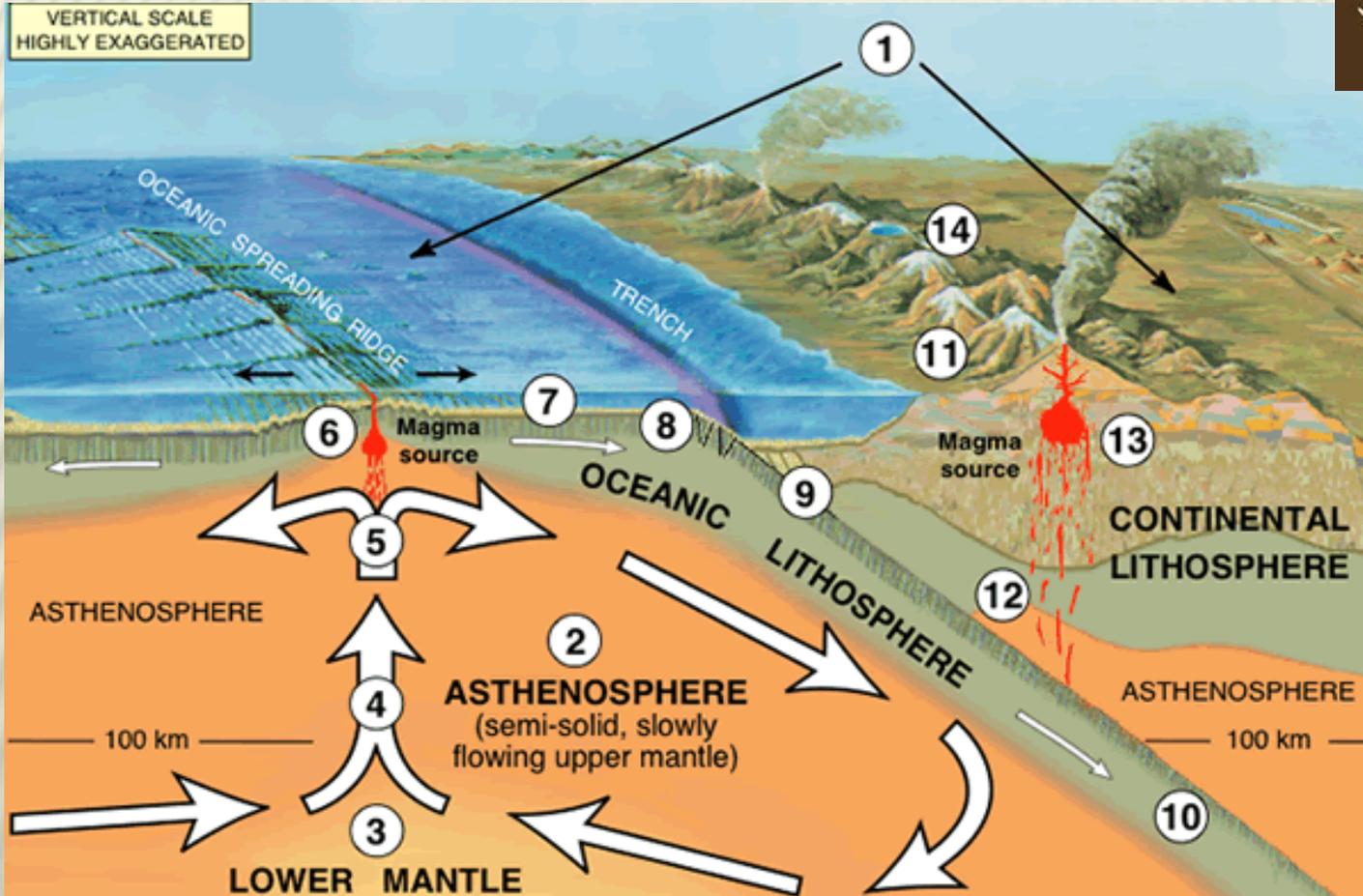
# MISURE BATIMETRICHE NEGLI OCEANI

---



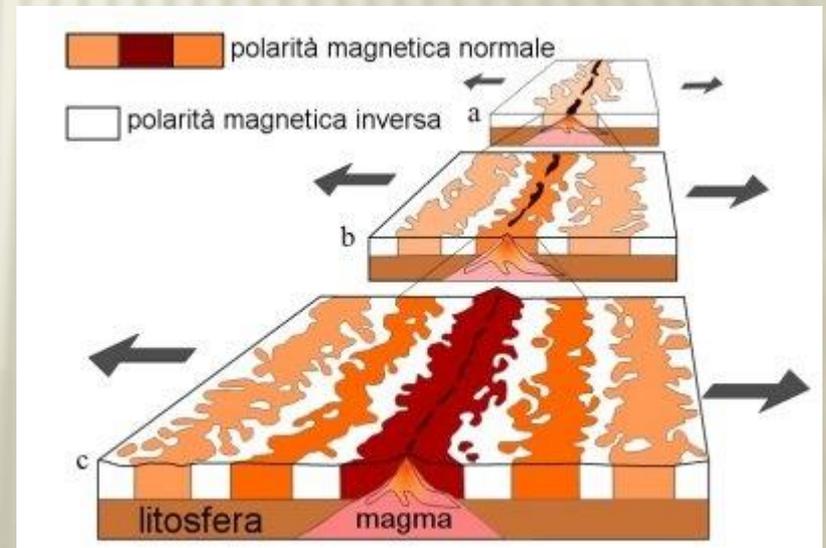
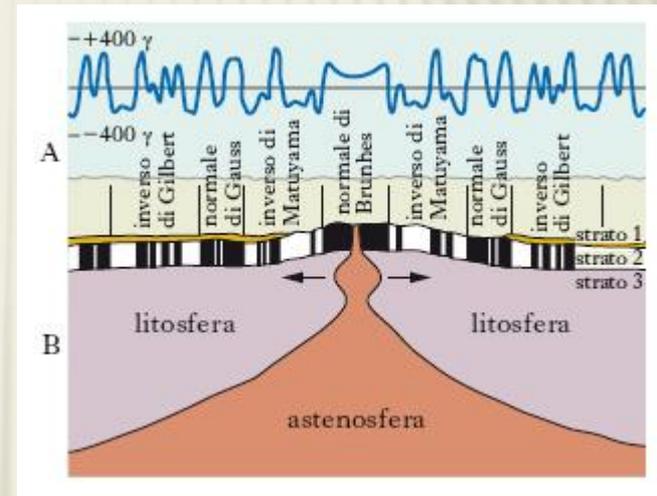
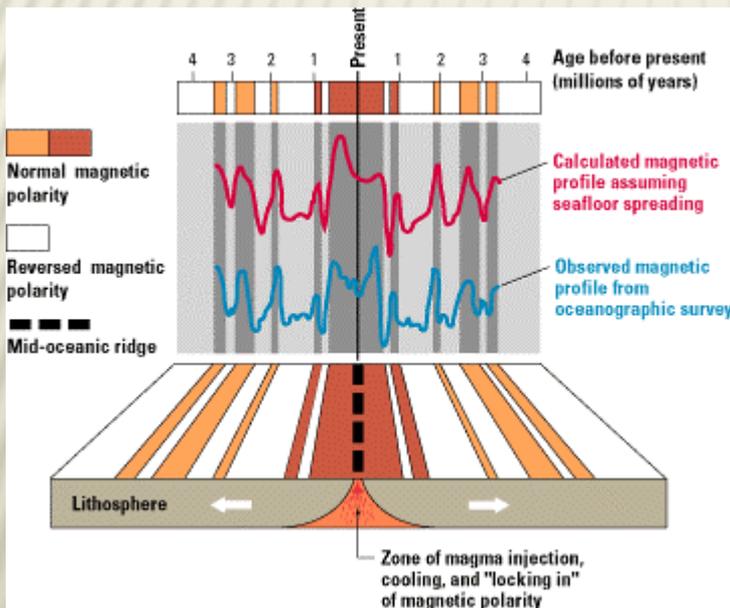
- 
- ✘ Espansione delle dorsali
  - ✘ Subduzione: la crosta prodotta dalle dorsali sprofonda nel mantello ed entra nel sistema convettivo
  - ✘ La quantità di fondo oceanico che si crea nelle dorsali è compensato dalla perdita nelle zone di subduzione
  - ✘ La crosta oceanica si forma e torna nel mantello nel giro di circa 200 milioni di anni

# LA CONVEZIONE TERMICA



# PROVE DELL'ESPANSIONE

- ✗ Dati geocronologici
- ✗ Dati paleomagnetici

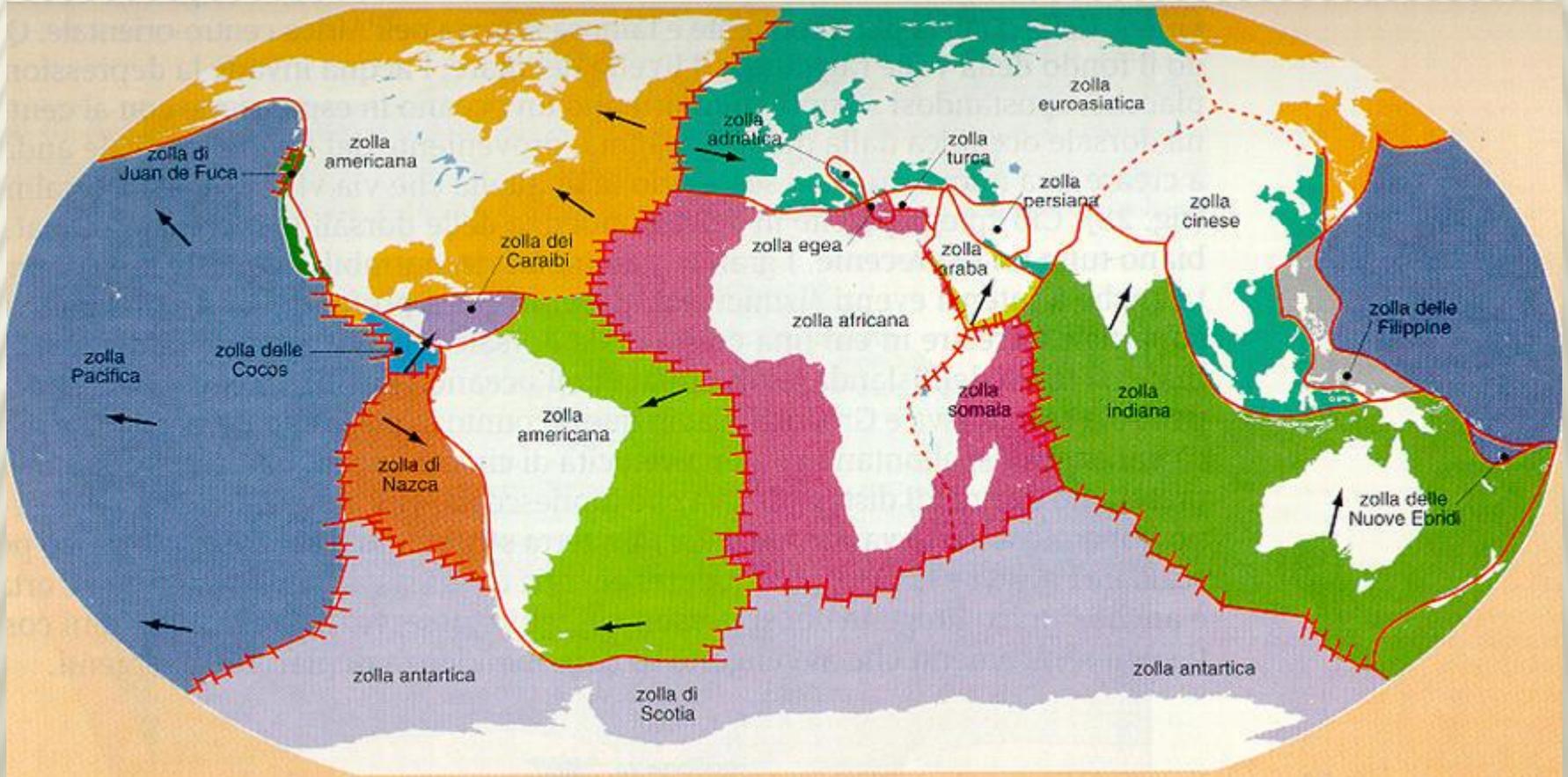


# TETTONICA A PLACCHE

---

- ✘ Si ritiene che la litosfera sia costituita da un mosaico di zolle rigide, o placche, costituite per lo più da crosta oceanica e continentale che galleggia sulla più plastica astenosfera
- ✘ Si ipotizzano 13 placche maggiori e altre minori

# LA PLACCHE: MARGINI DI TRE TIPI



# MARGINI DIVERGENTI

---

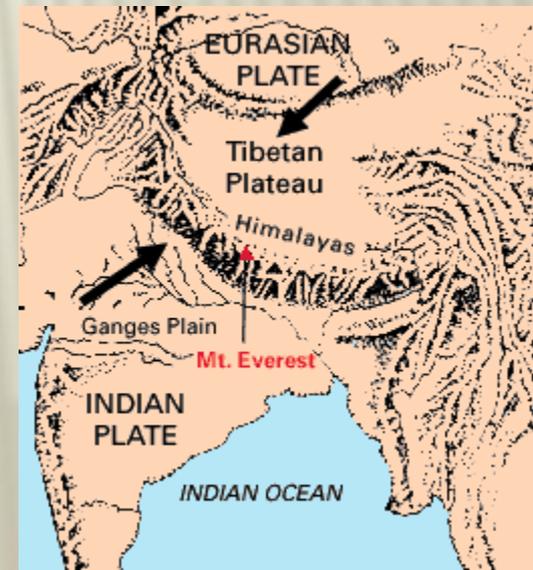
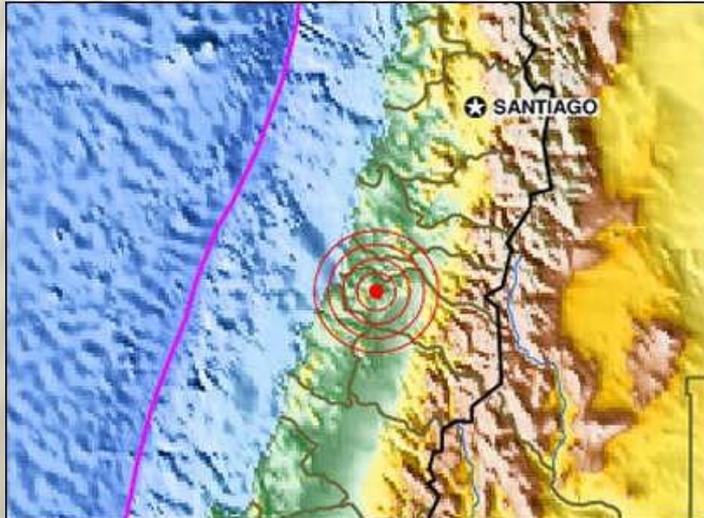
- ✘ Questi margini (detti anche di accrescimento, o costruttivi) lungo i quali le zolle si allontanano l'una dall'altra creando faglie normali o dirette e lo spazio creatosi viene occupato da nuova litosfera oceanica generata dalla risalita di rocce plastiche e leggere che risalgono tra rocce più pesanti di astenosfera calda, che quindi fonde parzialmente
- ✘ Si ha quindi la creazione di una catena montuosa chiamata dorsale oceanica lunga decine di migliaia di chilometri e che percorre tutti gli oceani del globo in modo più o meno regolare. Un esempio è dato dalla dorsale medio-atlantica che corre al centro dell'oceano Atlantico e che separa le zolle americane a ovest da quella euroasiatica e africana a est;
- ✘ Il magma può risalire in superficie e dar luogo a isole (es. Islanda);
- ✘ Possono trovarsi anche sui continenti (es. Rift Valley)

# ESEMPI DI MARGINI DIVERGENTI



# MARGINI CONVERGENTI

- ✗ Nei margini convergenti, o di subduzione, o costruttivi, le zolle collidono, provocando ampi corrugamenti e si divide in:
  - + Convergenza oceano-continente
  - + Convergenza oceano-oceano
  - + Convergenza continente-continente

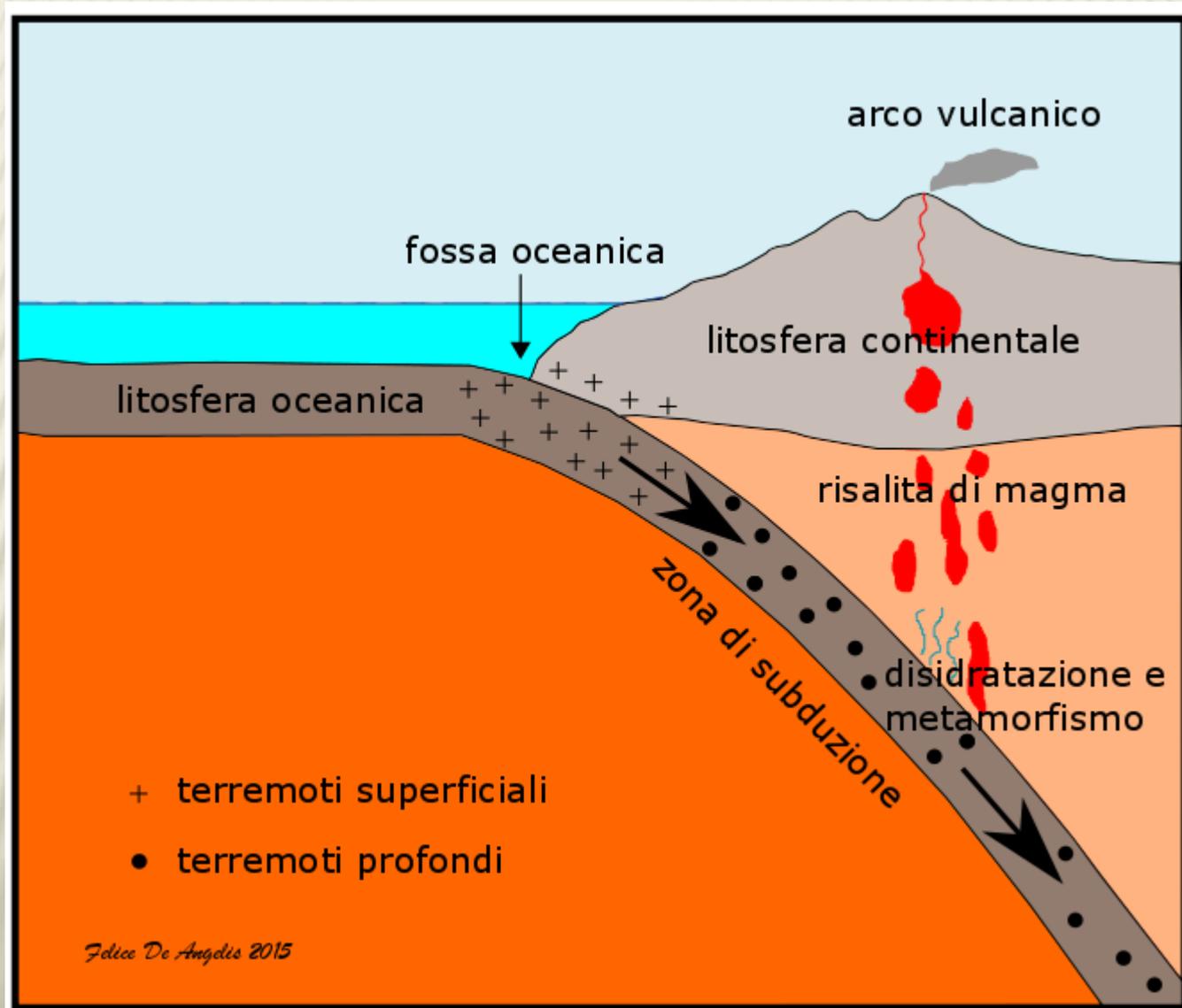


# MARGINI CONVERGENTI

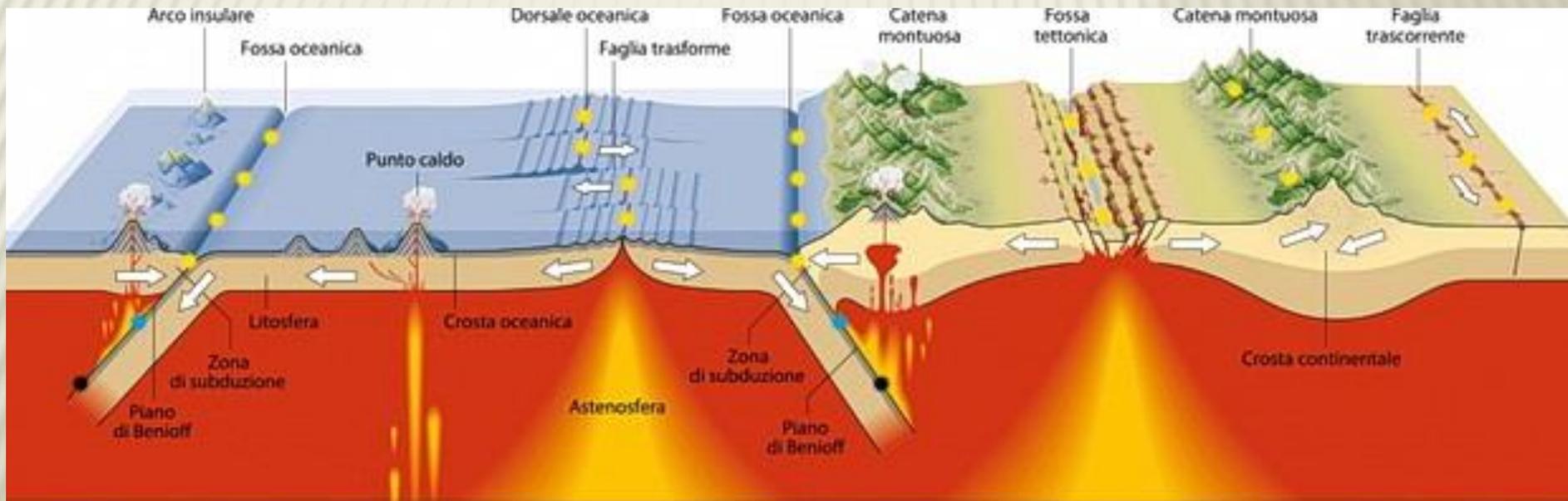
---

- ✘ Se a convergere sono una placca continentale e una oceanica, la seconda sottoscorre alla prima attraverso il cosiddetto fenomeno di *subduzione* e la litosfera oceanica viene trascinata in profondità nel mantello. In queste aree troviamo le *fosse abissali* e spesso sono presenti fenomeni di *vulcanismo* di natura andesitica, ovvero di composizione chimica intermedia tra rocce magmatiche acide (molto silice), o basiche (poca silice);
- ✘ Si viene così a creare in superficie un arco vulcanico sul continente. Tale vulcanismo ha origine dalla presenza di magma causata soprattutto dalla fusione parziale del cuneo di mantello sopra il piano di Benioff in cui avviene fusione per idratazione, e solo in minima parte dalla fusione del materiale subdotto (es. Ande);
- ✘ Una volta che è stato consumato tutto l'oceano si ha la collisione continentale con il conseguente innalzamento di un orogene.
- ✘ Se a convergere sono due litosfere oceaniche una delle due sottoscorre all'altra generando questa volta un arco vulcanico insulare.

# PIANO DI BENIOFF



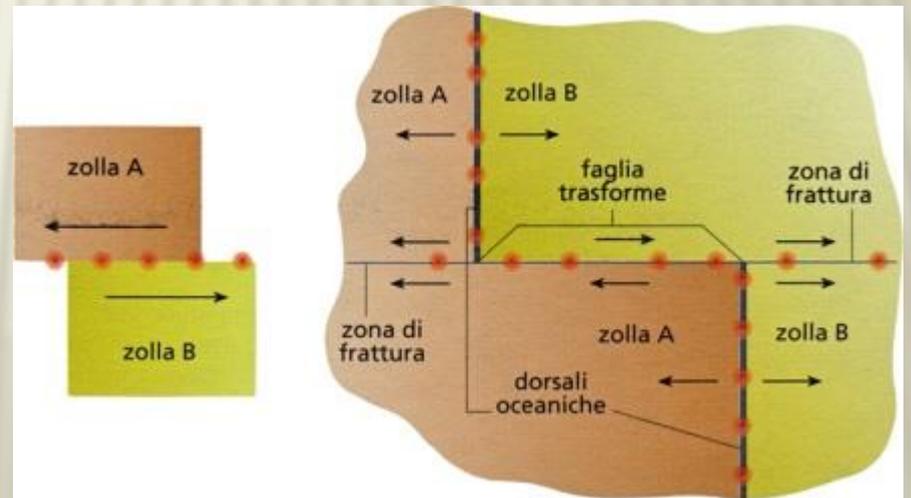
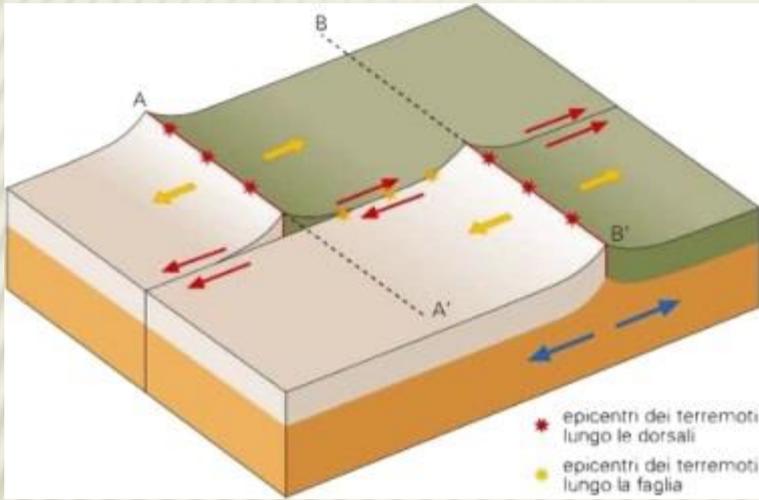
# TETTONICA A PLACCHE



# MARGINI TRASFORMI

---

- ✘ Nel margine trasforme le due placche scivolano l'una rispetto all'altra, senza che vi sia né produzione di crosta, come avviene nelle dorsali oceaniche, né distruzione di crosta, come nelle zone di subduzione;
- ✘ I margini trasformati sono presenti solamente nelle aree oceaniche, con un'unica eccezione: la faglia di S. Andreas, in California.





# DOMANDE APERTE

---

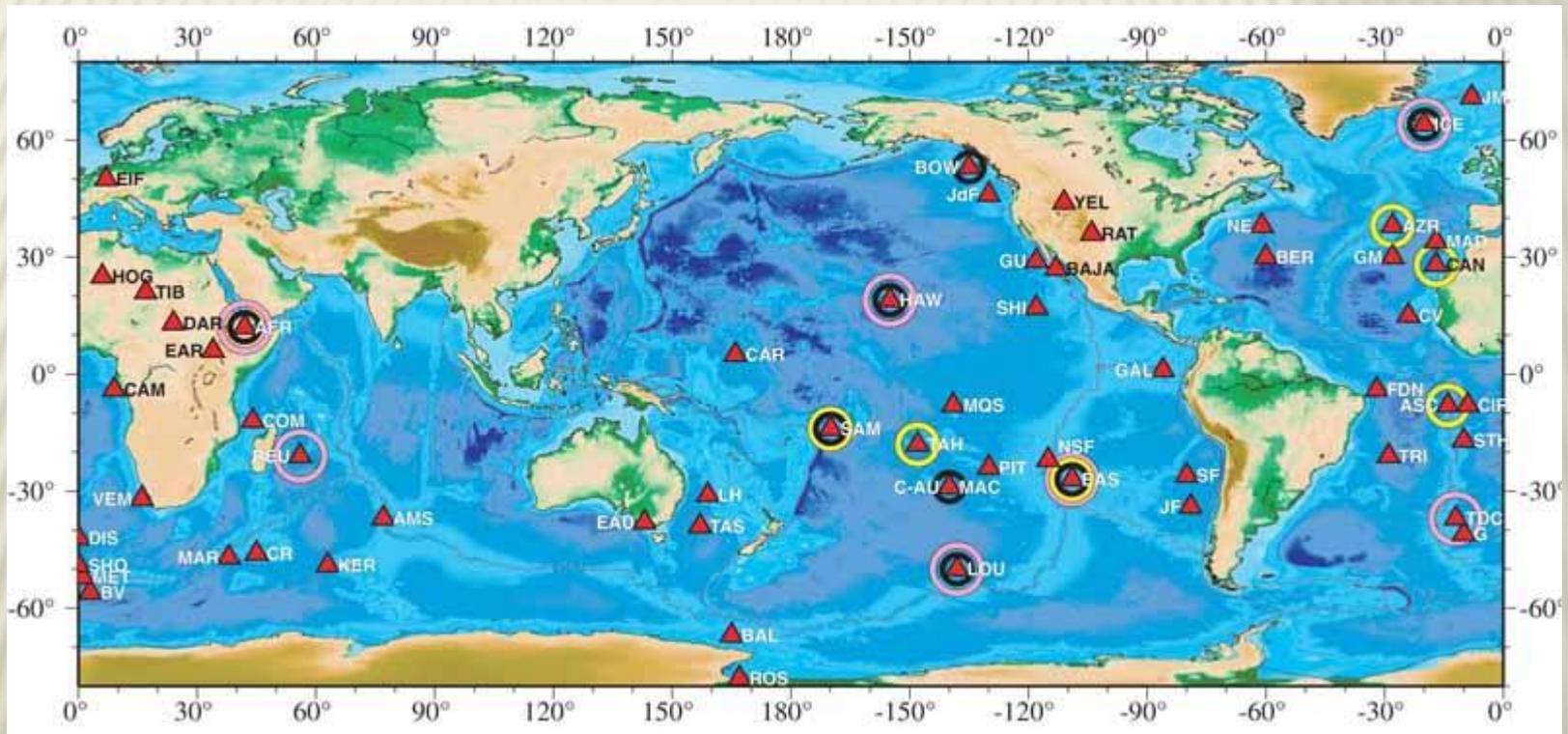
- ✘ Rimangono molte domande aperte sulla tettonica a placche, ad esempio:
  - + Da cosa dipende la grandezza delle placche?
  - + Da cosa dipende alla fine il moto delle placche?
  - + Qual è la natura delle forze endogene responsabili del movimento delle placche?
  - + Qual è la sorgente dell'energia che provoca il movimento?

# GLI HOT SPOT

---

- ✘ Esistono dei punti sulla Terra dove il magma, dalla profondità del mantello arriva quasi in superficie, lontano dai margini di zolla.
- ✘ Questi punti sono detti risalite mantelliche (*mantle plumes*) o punti caldi (*hot spot*)
- ✘ Sono state riconosciute oltre cento località con risalite mantelliche

# HOT SPOT MAP



Da: Anderson, D.L. and Schramm, K.A., 2005, Global Hotspot Maps, in Plates, Plumes & Paradigms, Foulger, G.R., Natland, J.H., Presnall, D.C, and Anderson, D.L., eds., Boulder, CO, Geological Society of America, Special Paper 388, pp. 19-29.

# HOT SPOT LOCALITIES

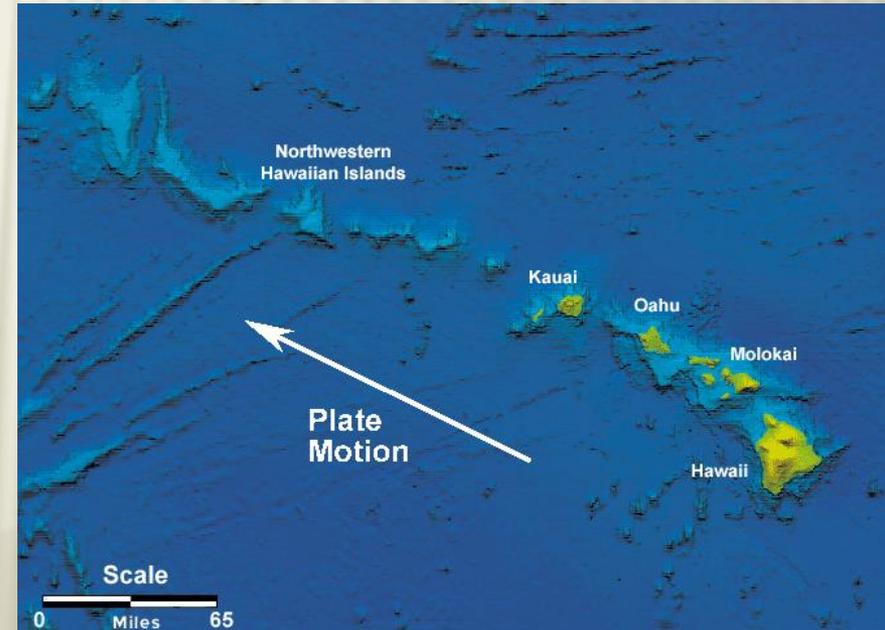
- ✗ Hawaii, Ustica, Canarie, Islanda, ecc



Ustica, Sicilia (I)



Kilauea, Hawaii (USA)



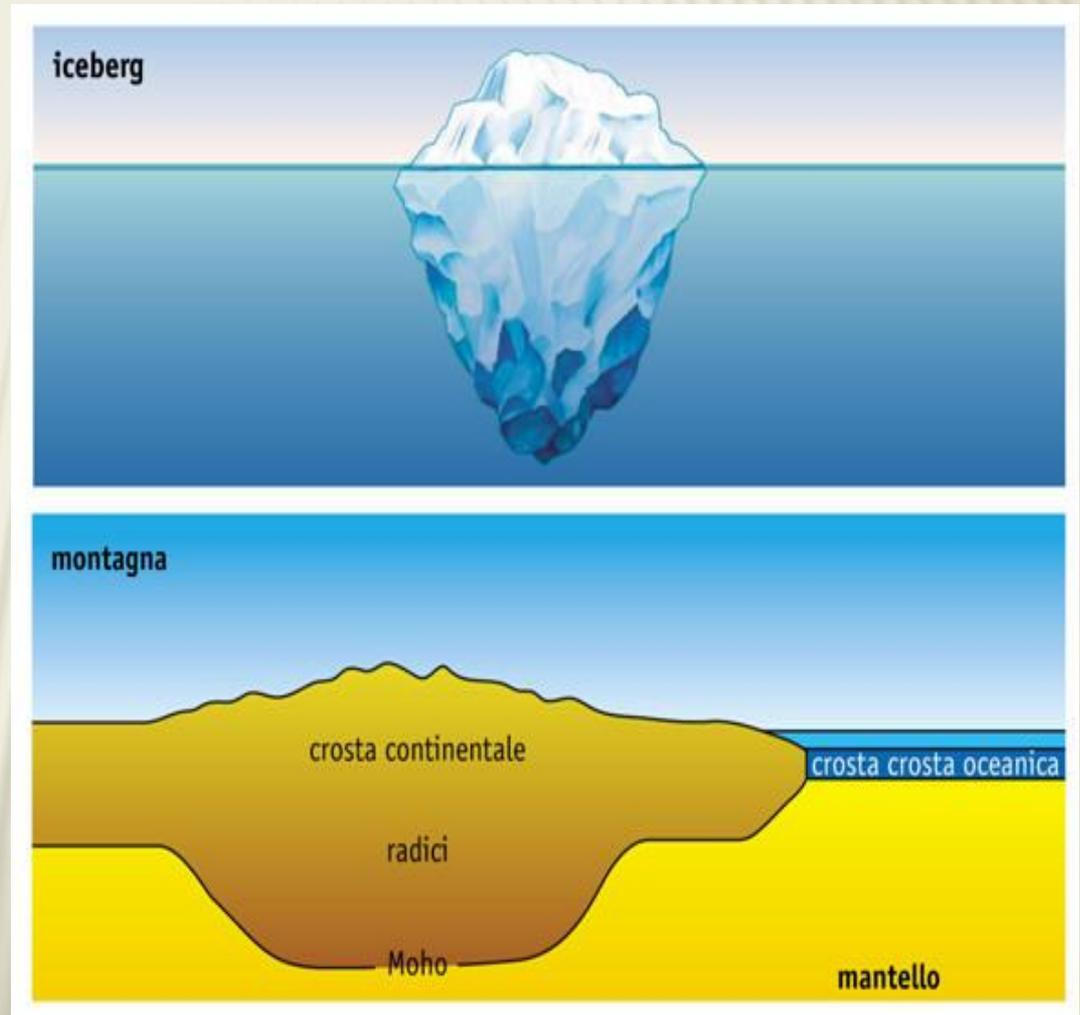
# ISOSTASIA

---

- ✘ L'isostasia indica il mantenimento dell'equilibrio isostatico.
- ✘ Una aggiunta di massa su una porzione di crosta causa lo sprofondamento, mentre una rimozione di massa provoca un sollevamento

# SCHEMA DI ISOSTASIA

- × La crosta oceanica è più sottile ma più densa, quindi si eleva poco.
- × La crosta continentale è meno sottile e meno densa
- × L'erosione di una catena montuosa porta ad un riequilibrio isostatico



# ISOSTASIA

---

- ✘ Il concetto di spinta isostatica è paragonabile al concetto di galleggiamento dell'iceberg.
- ✘ La crosta continentale, spessa ma poco densa, è come un iceberg che si approfondisce molto, ma emerge poco.
- ✘ La crosta oceanica, più sottile ma più densa,

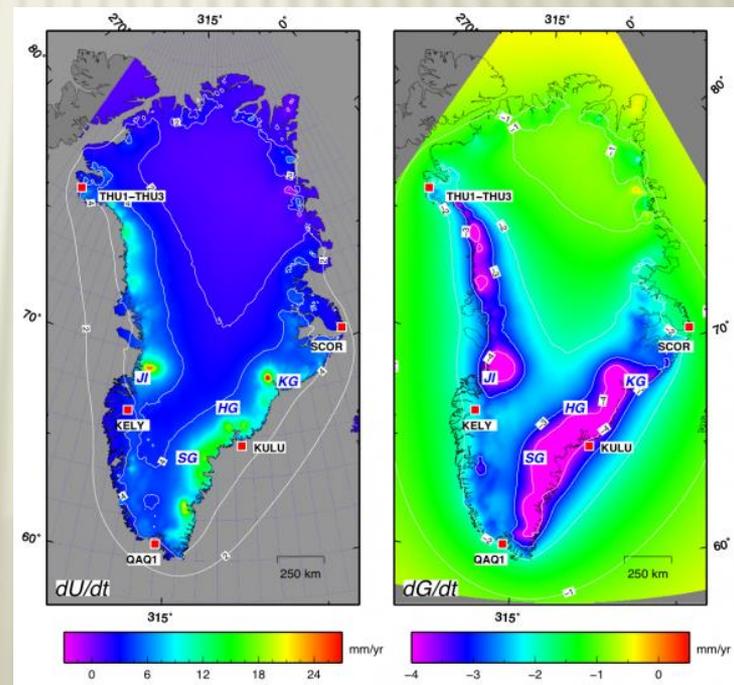
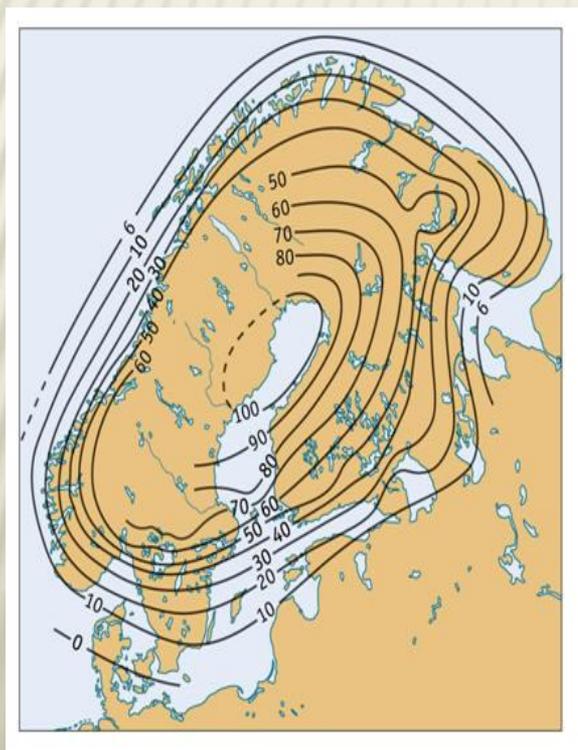
# EQUILIBRIO GRAVITAZIONALE

---

- × Grandi blocchi di crosta oceanica o continentale si pongono in equilibrio gravitazionale secondo la loro densità ed il loro spessore (principio di Archimede).
- × Sono ancora sconosciute, l'entità dello sprofondamento, la porzione interessata, l'estensione totale dei riaggiustamenti isostatici

# RIAGGIUSTAMENTI ISOSTATICI LEGATI AI GHIACCIAI

- ✗ La presenza o meno dei ghiacciai porta al riaggiustamento isostatico (*GIA, glacial isostatic adjustment*) di intere porzioni di continenti.



# CAUSE DI RIAGGIUSTAMENTI ISOSTATICI

- ✘ Glaciazione (es. Scandinavia)
- ✘ Estrazione di grandi quantità di fluidi dal sottosuolo (es. Venezia)
- ✘ Dissoluzione di masse carbonatiche (es. Florida)
- ✘ Cause antropiche (svuotamento di dighe)

Materiale in fusione e suoi prodotti

# IL MAGMATISMO

---

# MAGMATISMO

---

- ✘ Il termine indica tutti i processi legati all'origine e movimento di roccia fusa. Sono incluse:
  - + Eruzioni vulcaniche
  - + Lenta solidificazione di magmi sotto la superficie



# IL VULCANISMO

---

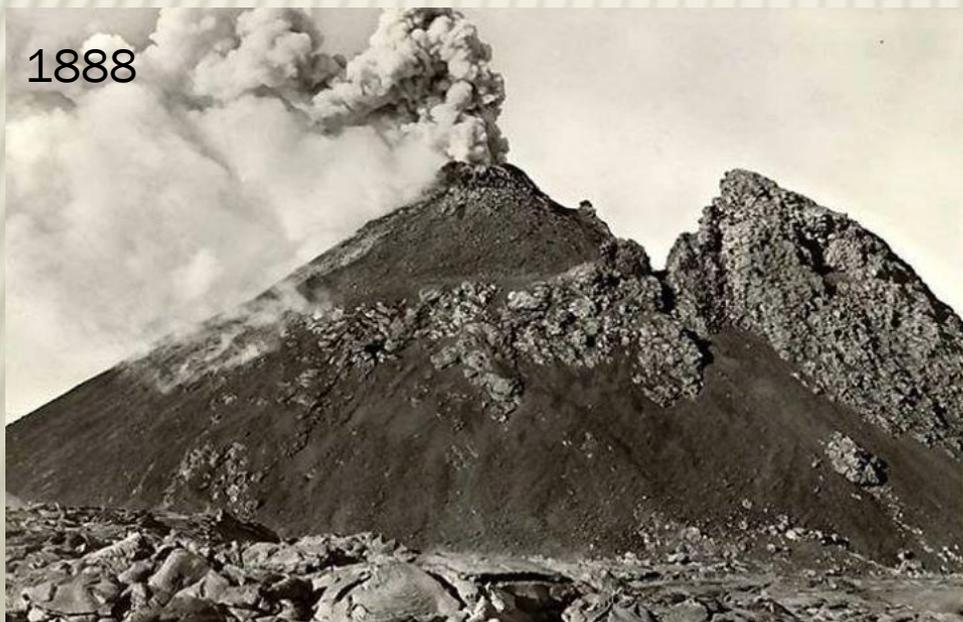
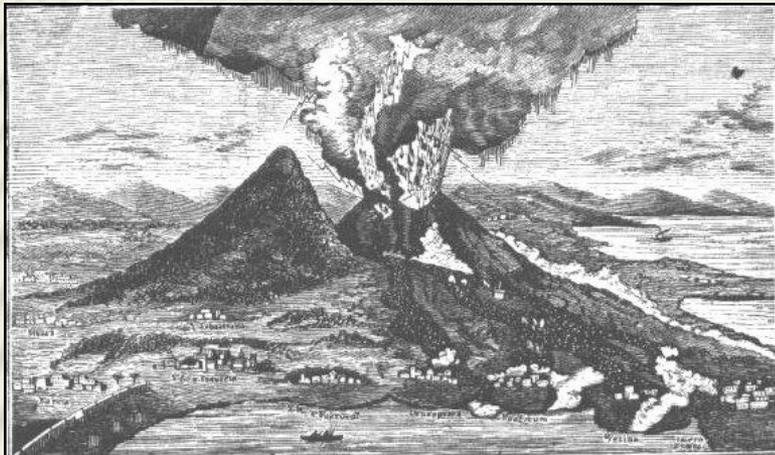
- ✘ Il magma eruttato in superficie viene detto lava
- ✘ L'emissione di lava in superficie può essere caratterizzata dalla presenza di materiale volatile o esplosivo, interessando località a notevoli distanza
- ✘ Altre volte può essere tranquilla, interessando solo località molto vicine

# SINABUG (INDONESIA)

---



# ERUZIONI DEL VESUVIO



# ETNA (ITALIA)

---



# MATERIALE PIROCLASTICO

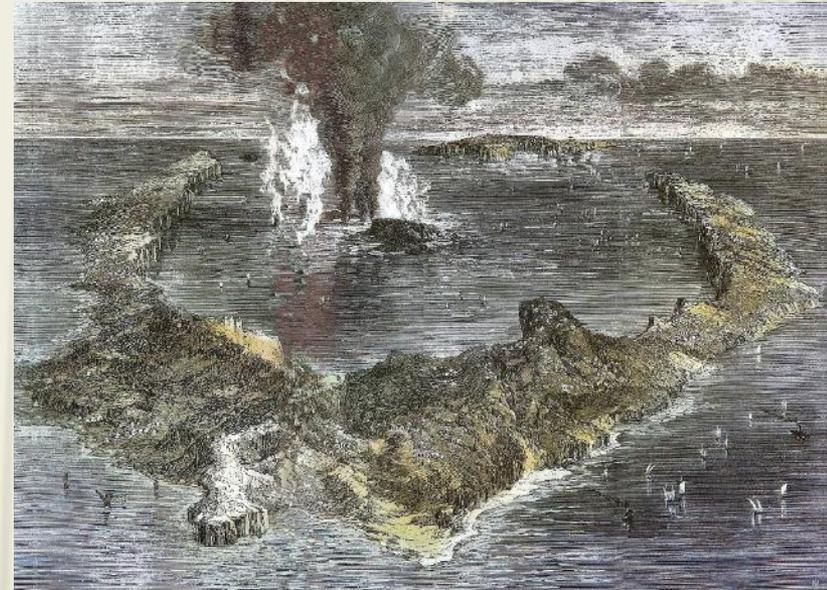
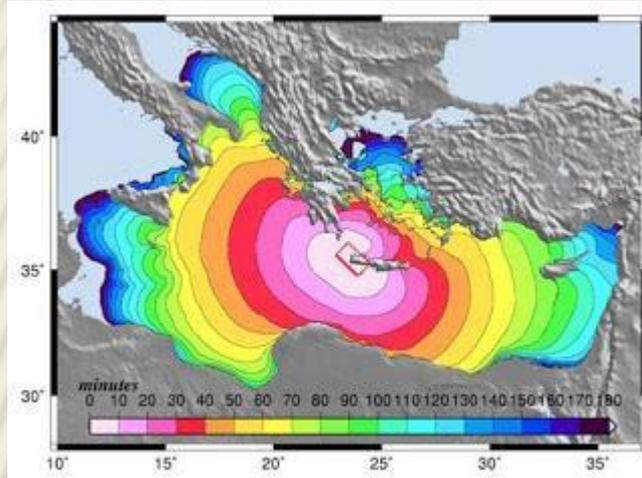
---

- ✘ In una eruzione esplosiva possono fuoriuscire enormi quantità di frammenti di roccia, porzioni di lava solidificata, ceneri e polveri, gas e vapore. Tale materiale è detto *piroclastico*.
- ✘ Esempi famosi sono rappresentati dall'eruzione del Krakatoa, che esplose nel 1883. Il boato venne udito a 2500 km di distanza in Australia. Un'altra eruzione esplosiva famosa si è verificata a Santorini (Grecia)

# ERUZIONE DEL KRAKATOA (SUMATRA)



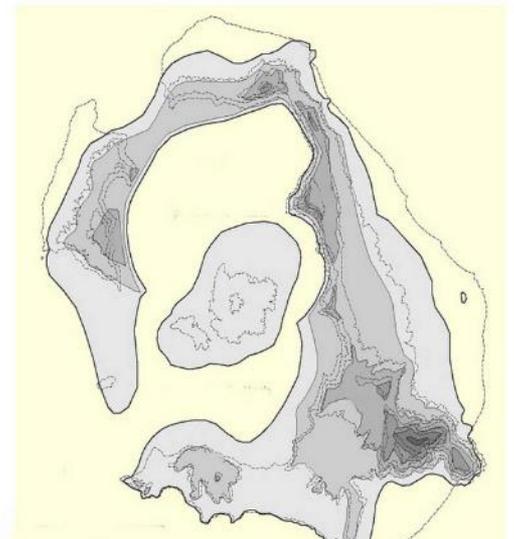
# SANTORINI



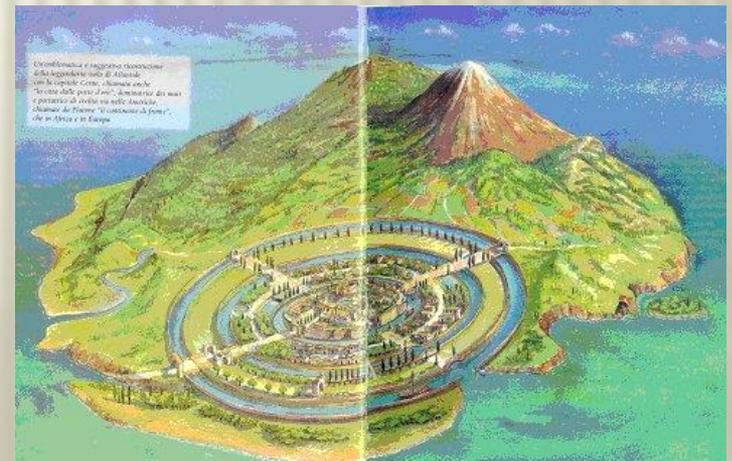
Vistas de Santorini con el volcán. De la revista "The Illustrated London News" 31 de marzo 1866, pág. 318.



How the Thera (Santorini) looks today



How Thera may have looked before the eruption.



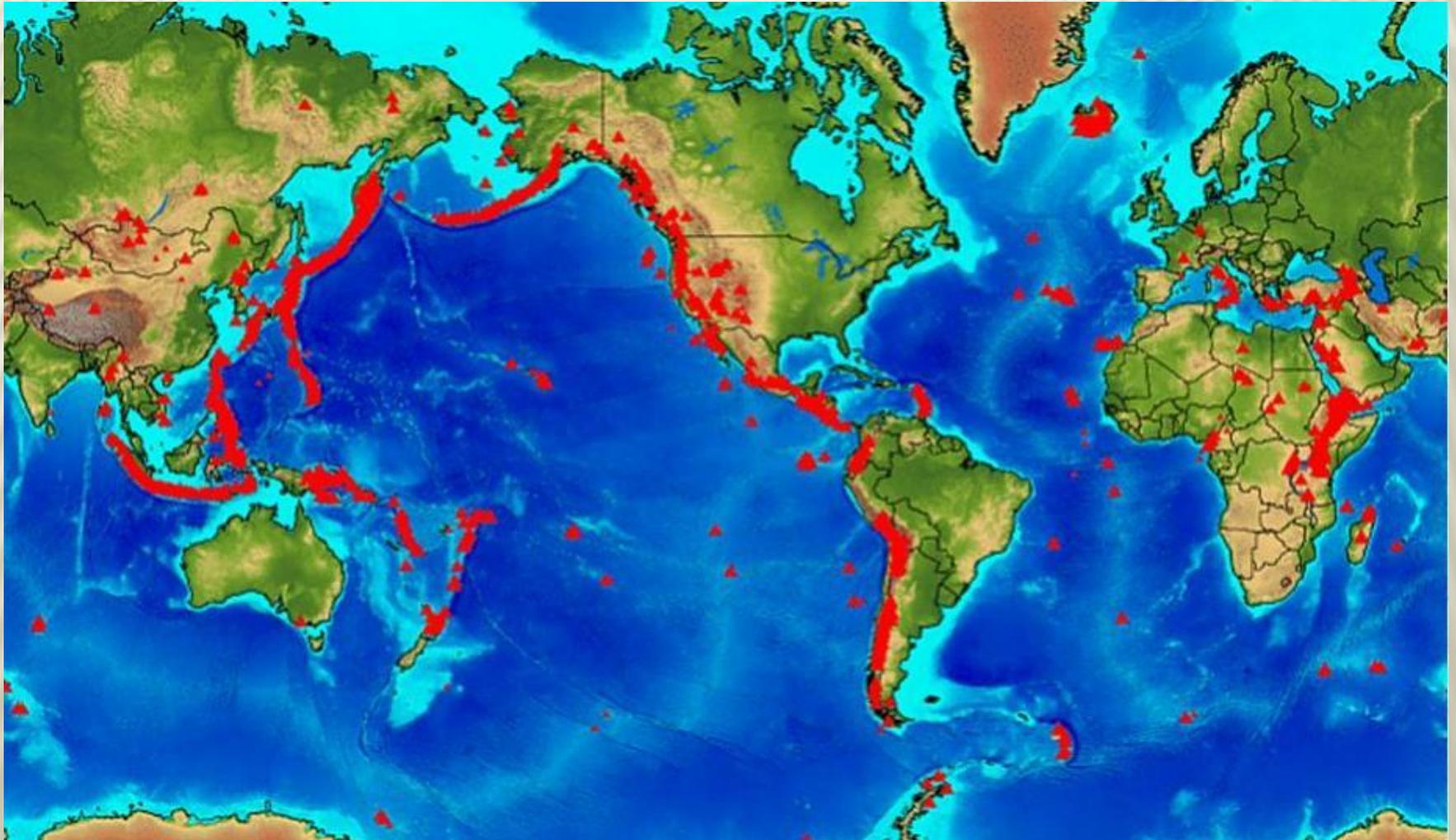


**BOMBA DI LAVA (USTICA, I)**



**BOMBA DI LAVA (USTICA, I)**

# DISTRIBUZIONE DEI VULCANI



# VULCANI ATTIVI

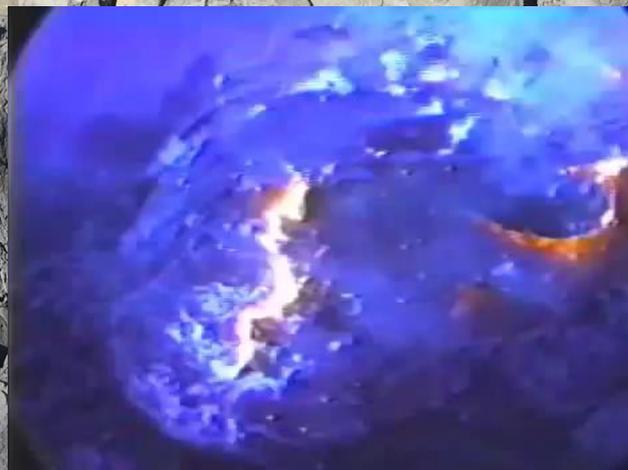
---

- ✘ Un vulcano è considerato attivo se ha eruttato almeno una volta in epoca storica
- ✘ 550 vulcani sono considerati attivi
- ✘ Si verificano circa 55 eruzioni all'anno, più una/due di vulcani non considerati attivi
- ✘ Esiste inoltre un'attività vulcanica sotto gli oceani (lungo le dorsali)

# PILLOW LAVA (MAGMA DALLE DORSALI)



# PILLOW LAVA (USTICA, I)



# STILI ERUTTIVI

---

- ✘ La tipologia di eruzione è controllata principalmente dal chimismo del magma, ed in secondo luogo dalla resistenza della crosta e la pressione di confinamento del magma
- ✘ In particolare la percentuale di  $\text{SiO}_2$  (quarzo) risulta fondamentale

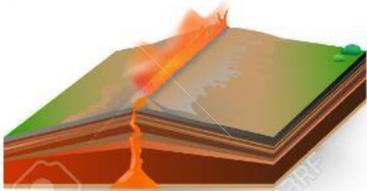
# MAGMI ACIDI E MAGMI BASICI

---

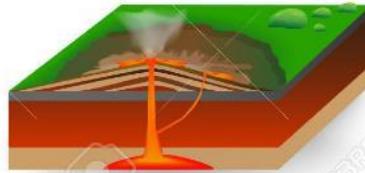
- ✘ Magmi ricchi di silice sono spesso legati ad attività esplosive, in quanto vi si possono trovare intrappolate sacche di gas
- ✘ Magmi basici sono quelli poveri in silice, come i magmi basaltici (es. Hawaii), in cui il vulcano emette grandi quantità di lava senza esplosioni
- ✘ Lo stile eruttivo di un vulcano può variare nel tempo, ma spesso rimane costante nel tempo

# TIPI DI VULCANI E CARATTERISTICHE

## VOLCANIC FEATURES



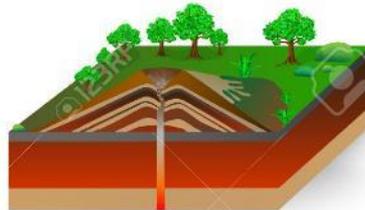
Fissure vent



Shield volcano

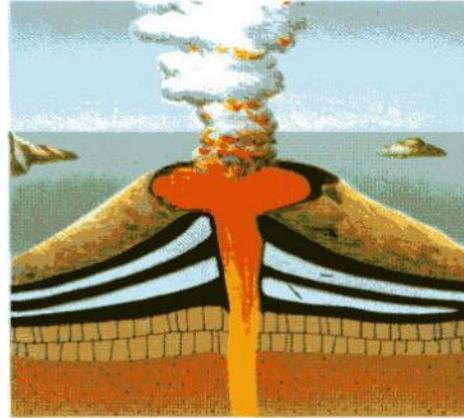


Stratovolcano

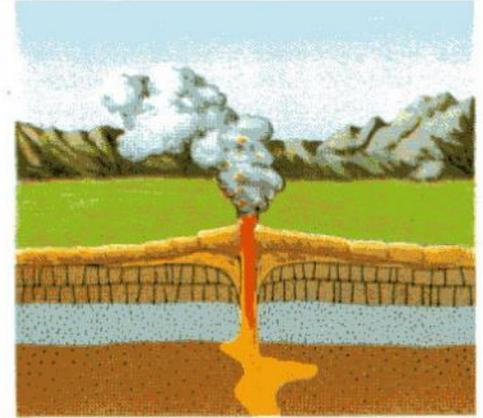


Lava dome

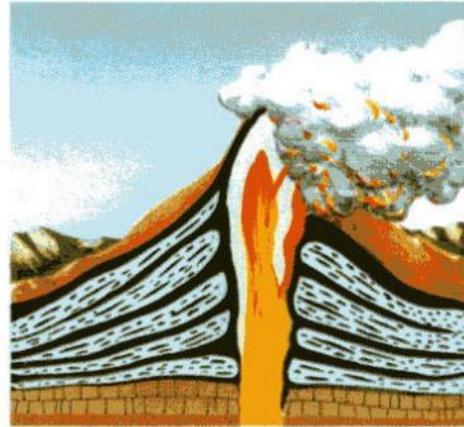
## TIPI DI VULCANO



Tipo Hawaiano



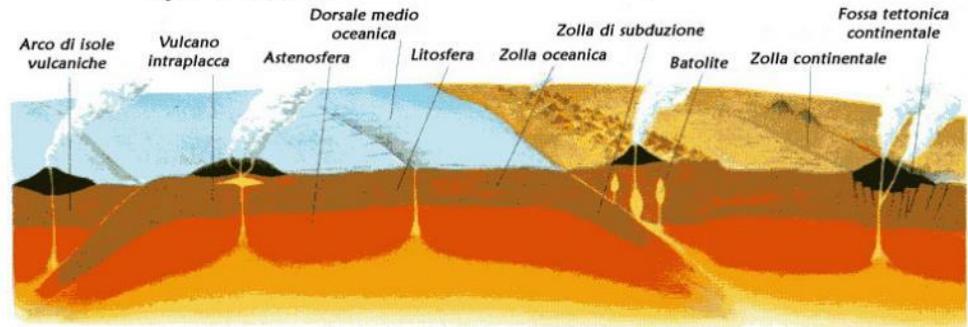
Tipo Islandico



Tipo Peleano

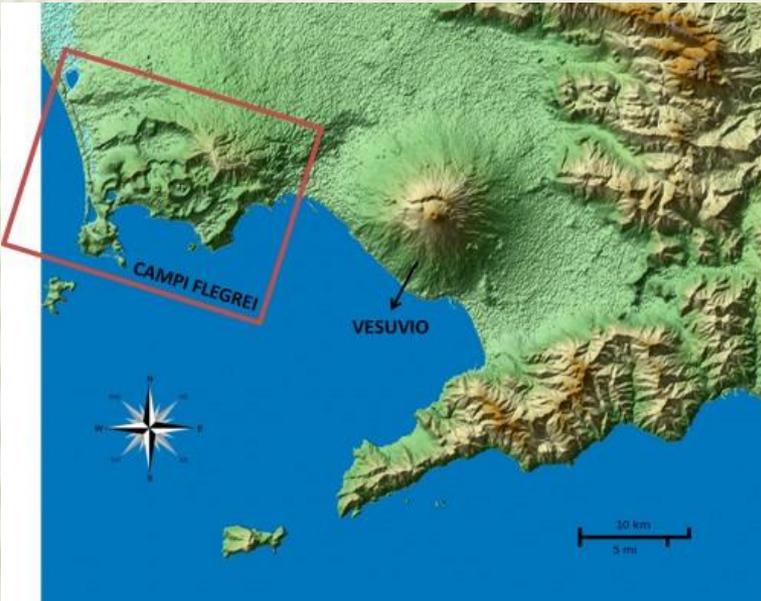


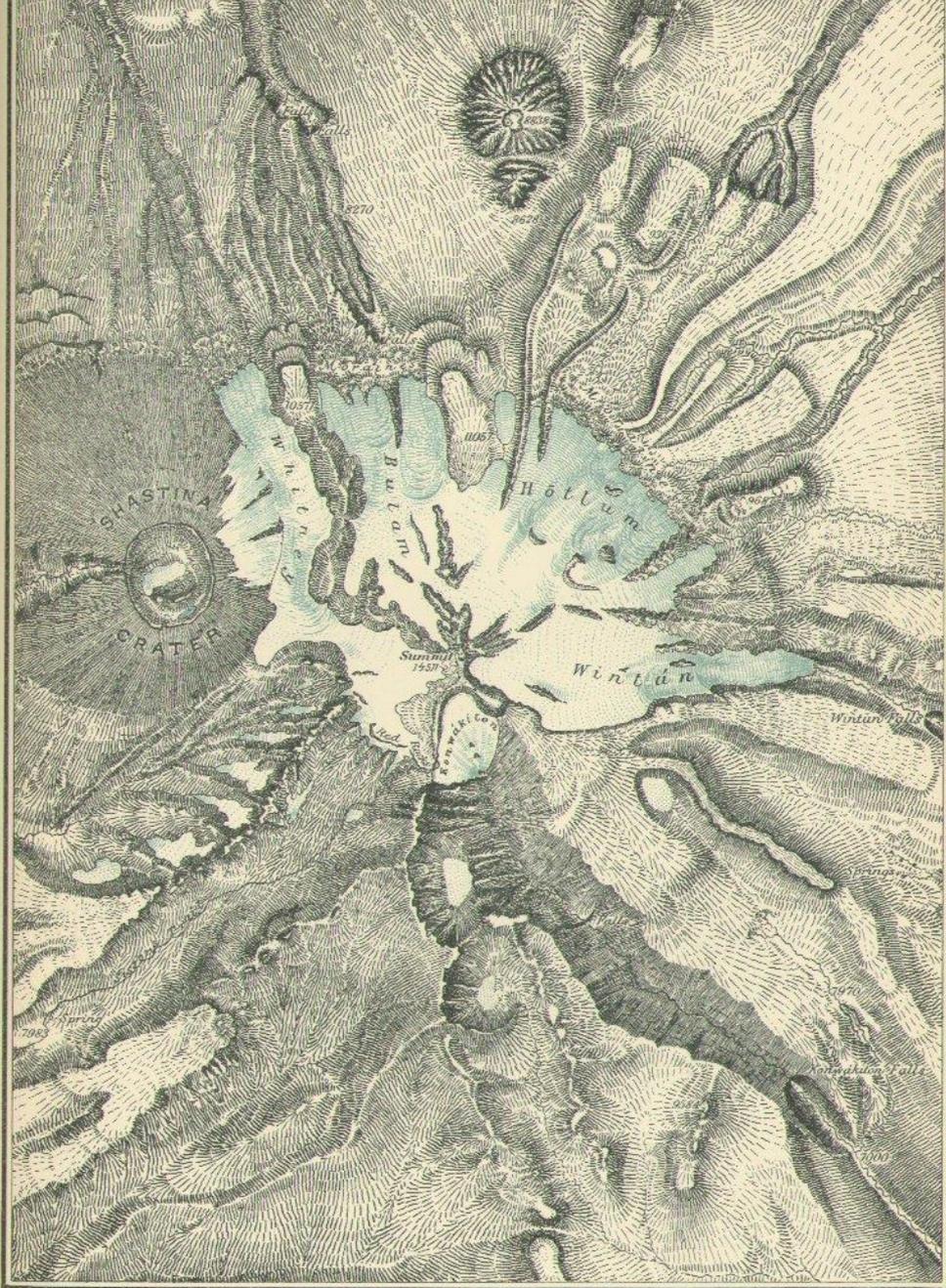
Tipo Vulcaniano



Ambienti tettonici collegati all'attività vulcanica

# TOPOGRAFIA VULCANI





Gilbert Thompson, Topographer.

Julius Bien & Co. Ltd.

TOPOGRAPHICAL SKETCH OF MT SIESTA, CALIFORNIA, 1883.

Glaciers

Scale

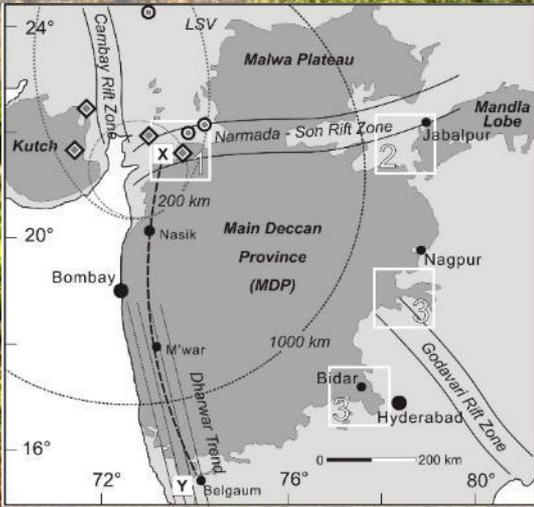
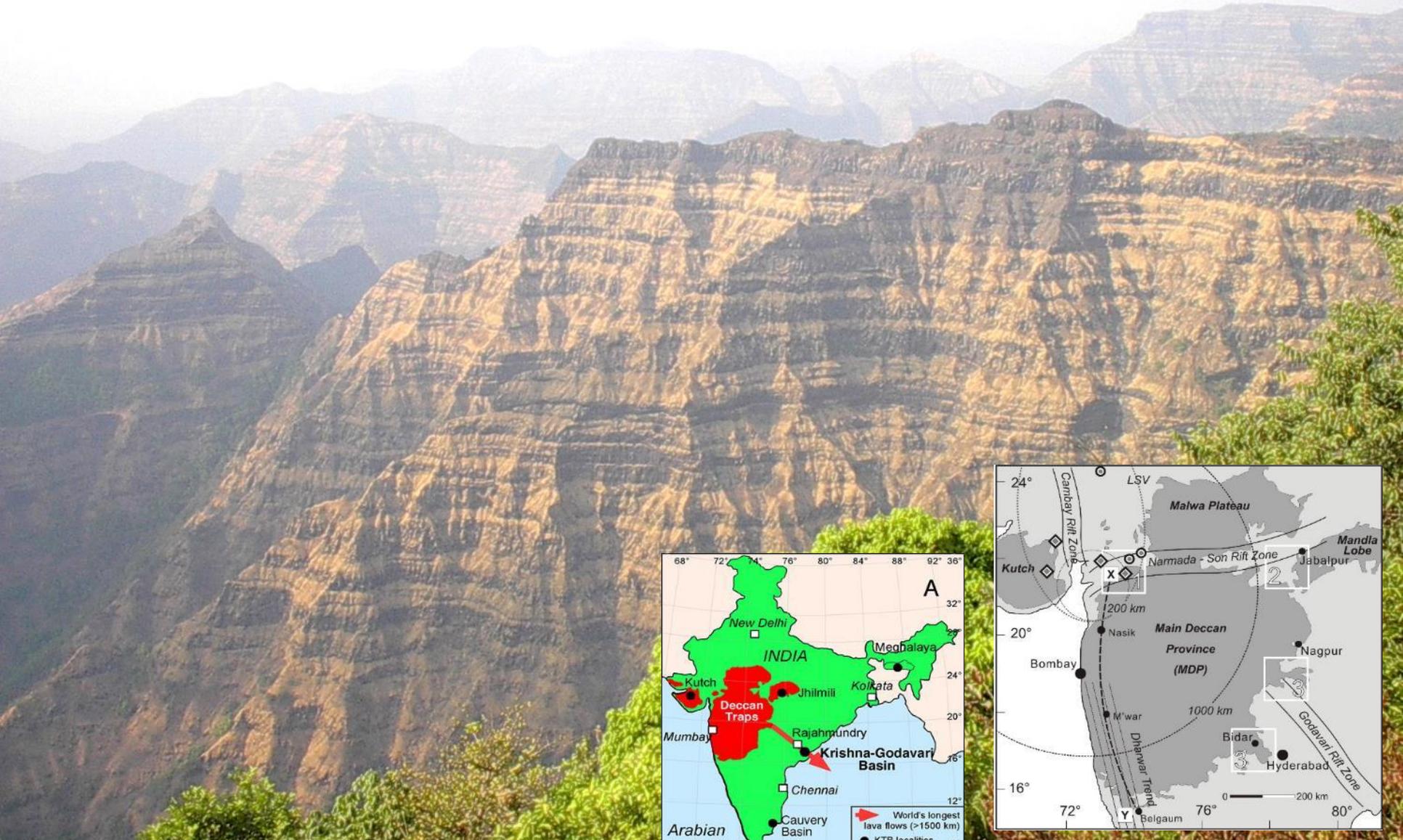
1  
— one mile

Névé Fields



**ISOLA DI SURTSEY (ISLANDA)**

(Plateau basaltico del Deccan, India) 550.000 Km<sup>2</sup>

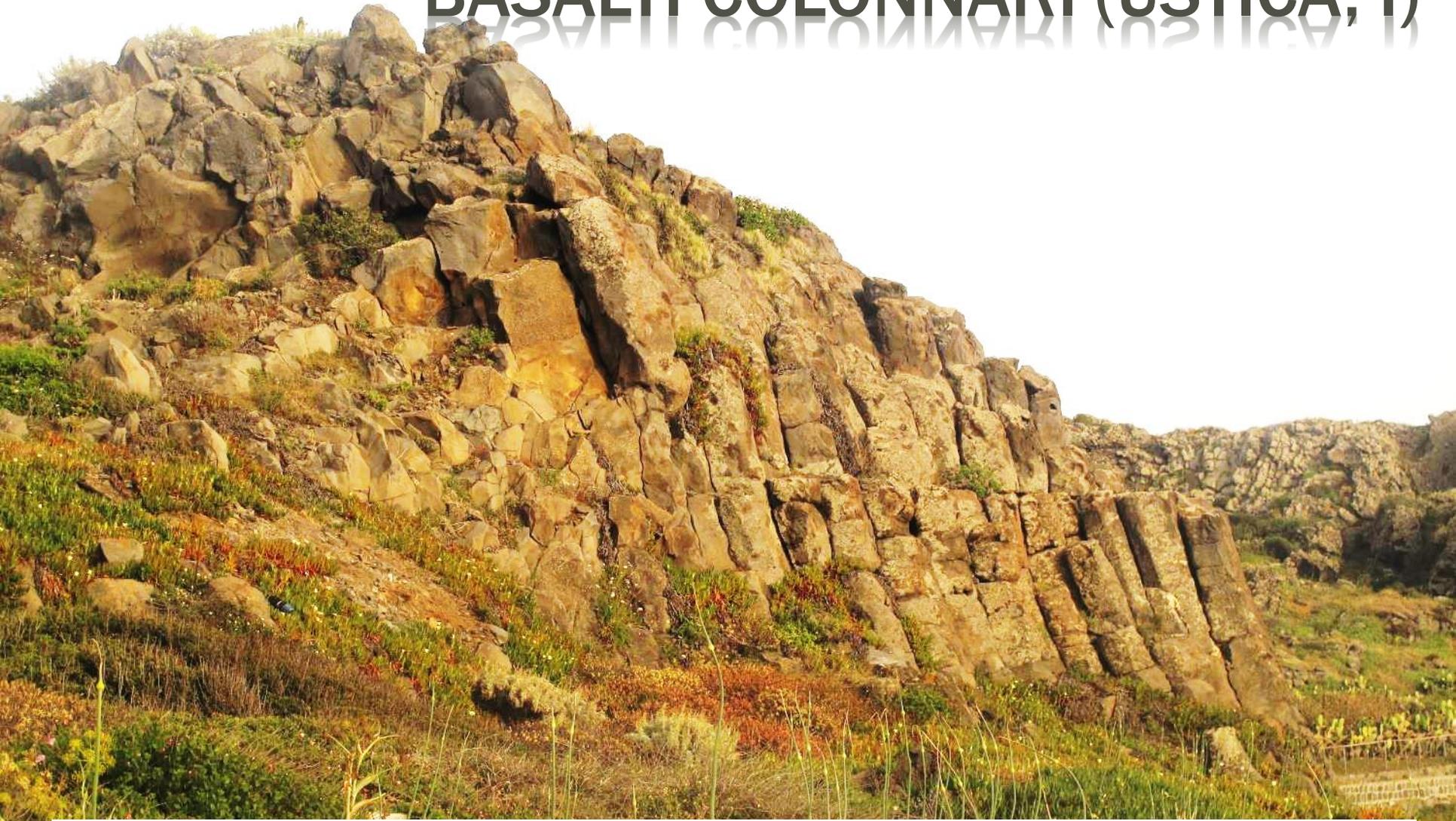


(GSA, 2007)



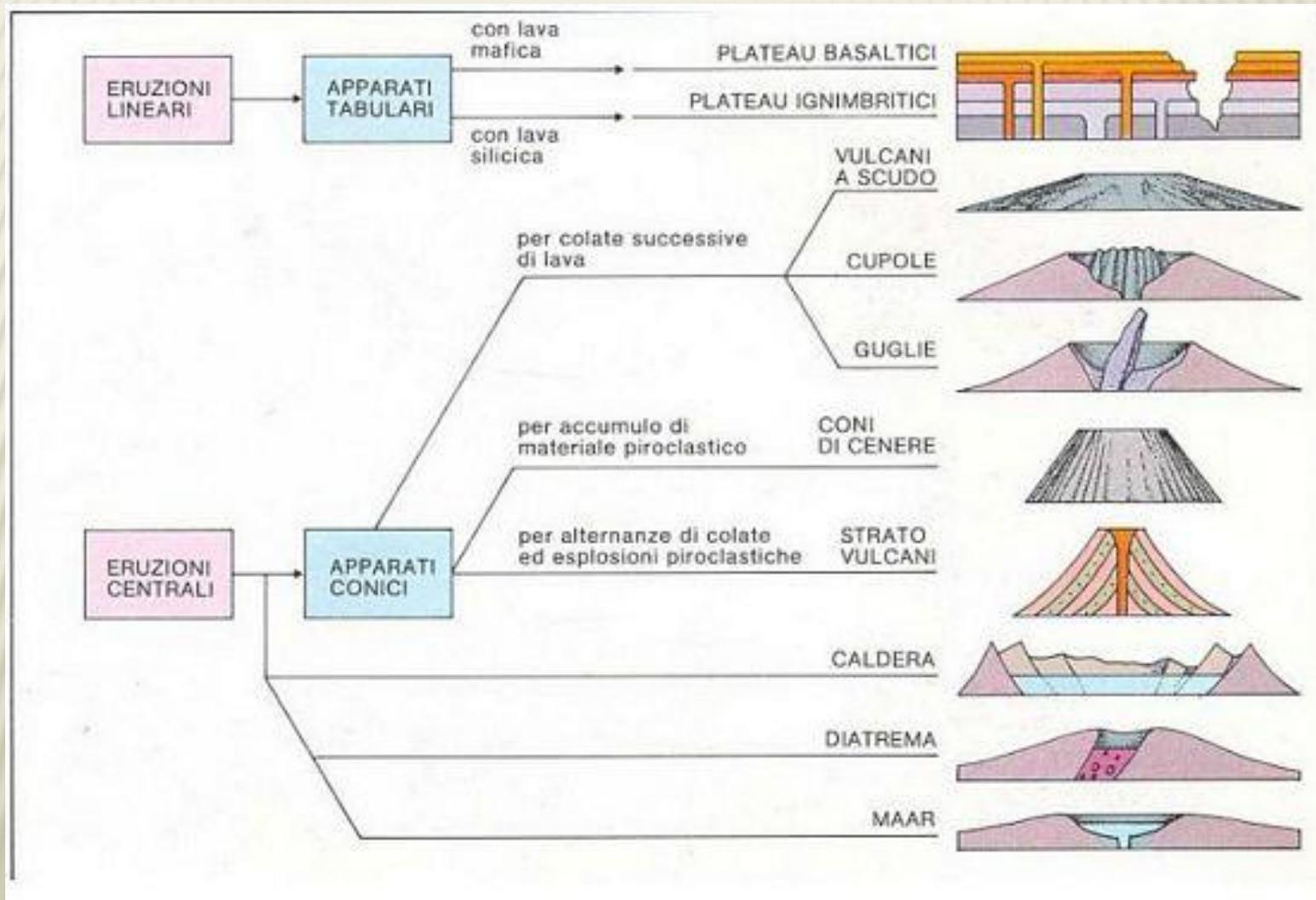
**GIANT'S CAUSEWAY (IRELAND)**

# BASALTI COLONNARI (USTICA, I)



Sono rocce magmatiche originate dal raffreddamento di colate laviche durante il loro movimento, che genera delle fratture perpendicolari e parallele al fronte della colata che separano le colonne a base esagonale o quadrata.

# TIPI DI APPARATI VULCANICI



# LA CALDERA

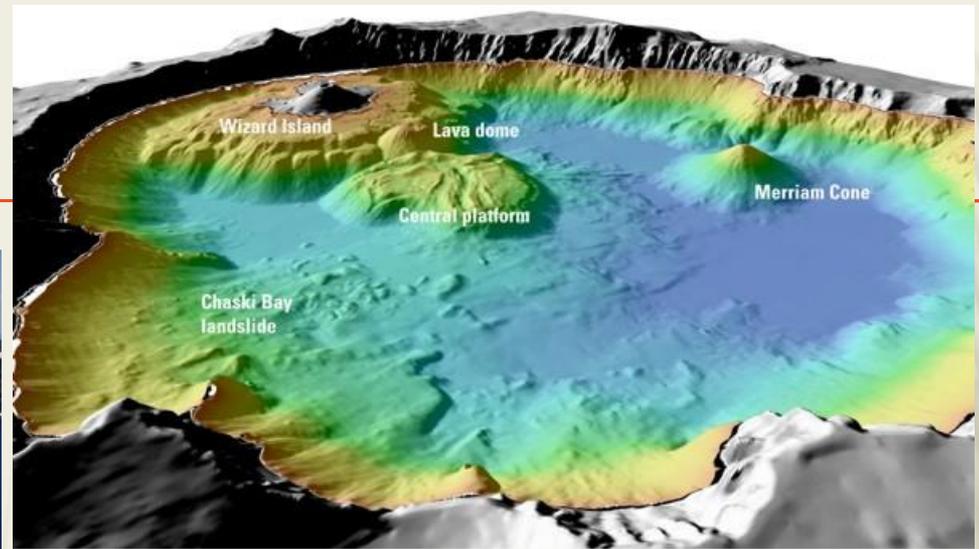
---

Quando un vulcano esplode e collassa si ha la formazione di una caldera

E' una depressione, generalmente circolare, con un diametro molto più grande del cratere (es. Crater Lake, laghi vulcanici dell'Appennino laziale, ecc)

# FORME VULCANICHE O LEGATE A MAGMATISMO

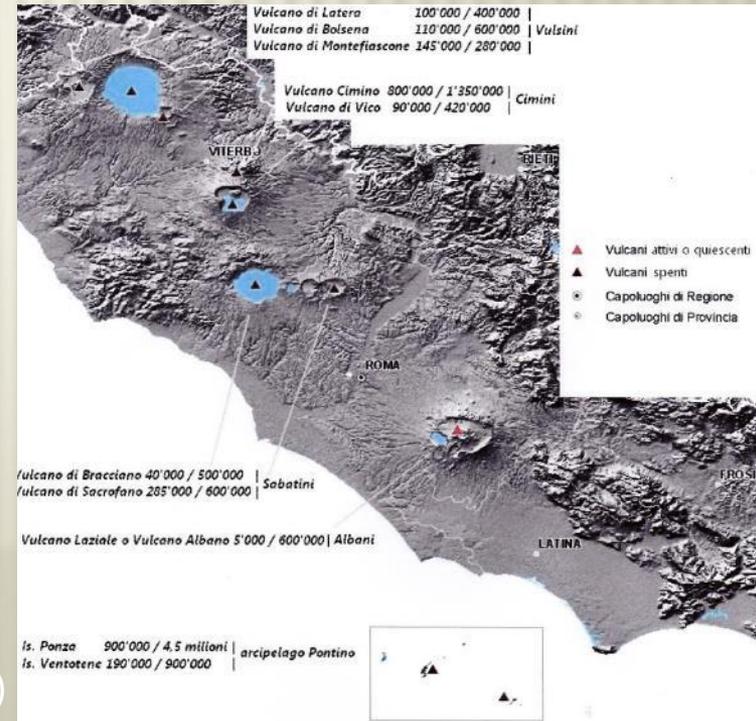
# CALDERA



(Crater Lake, Oregon, USA)



(Lago di Albano, Lazio, I)



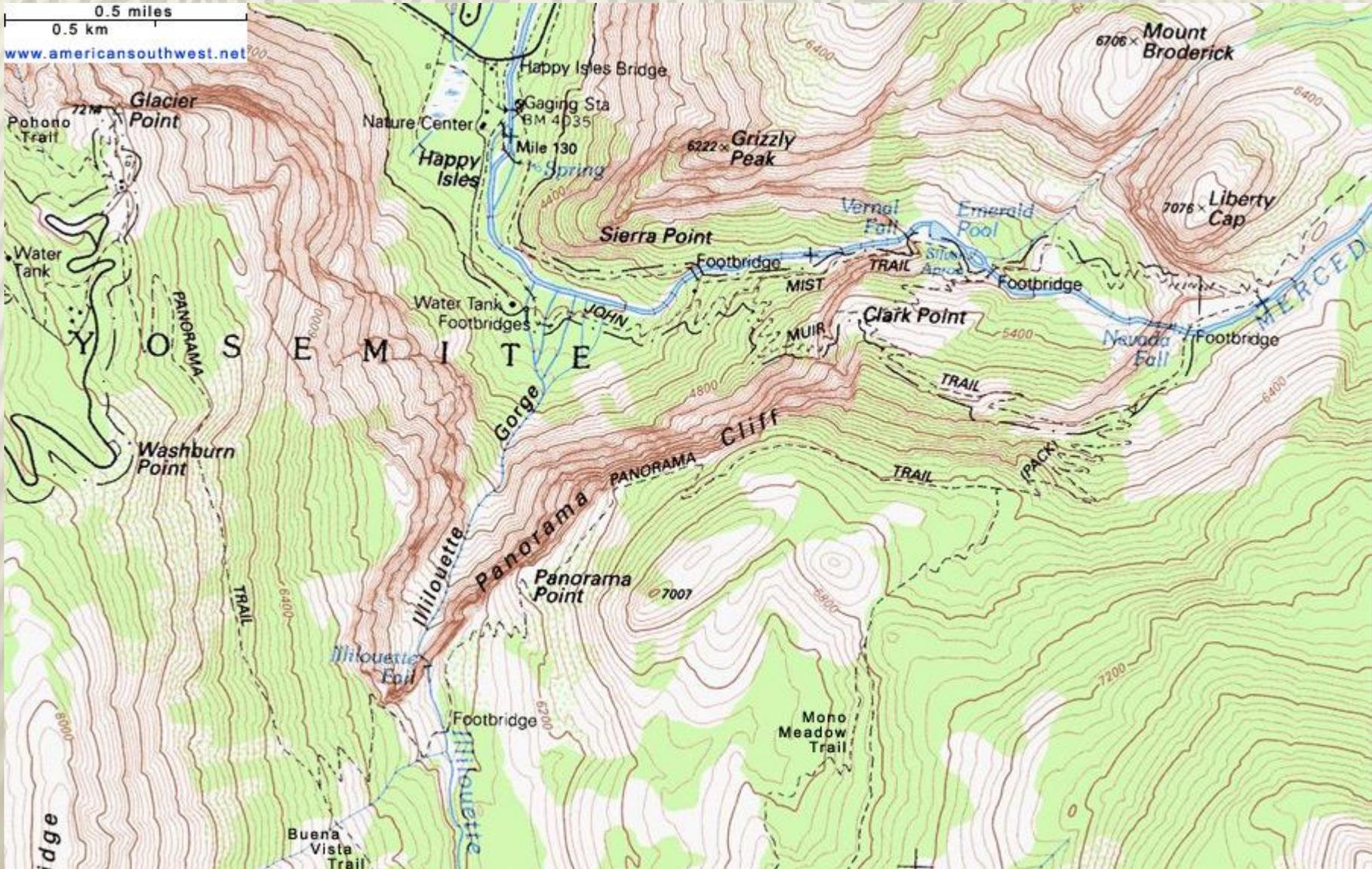
# BATOLITE

---

(Half Dome, Yosemite National Park, California, USA)



# YOSEMITE PARK TOPOGRAPHY (USA)



(Sequoia National Park, California, USA)



(Sequoia National Park, California, USA)

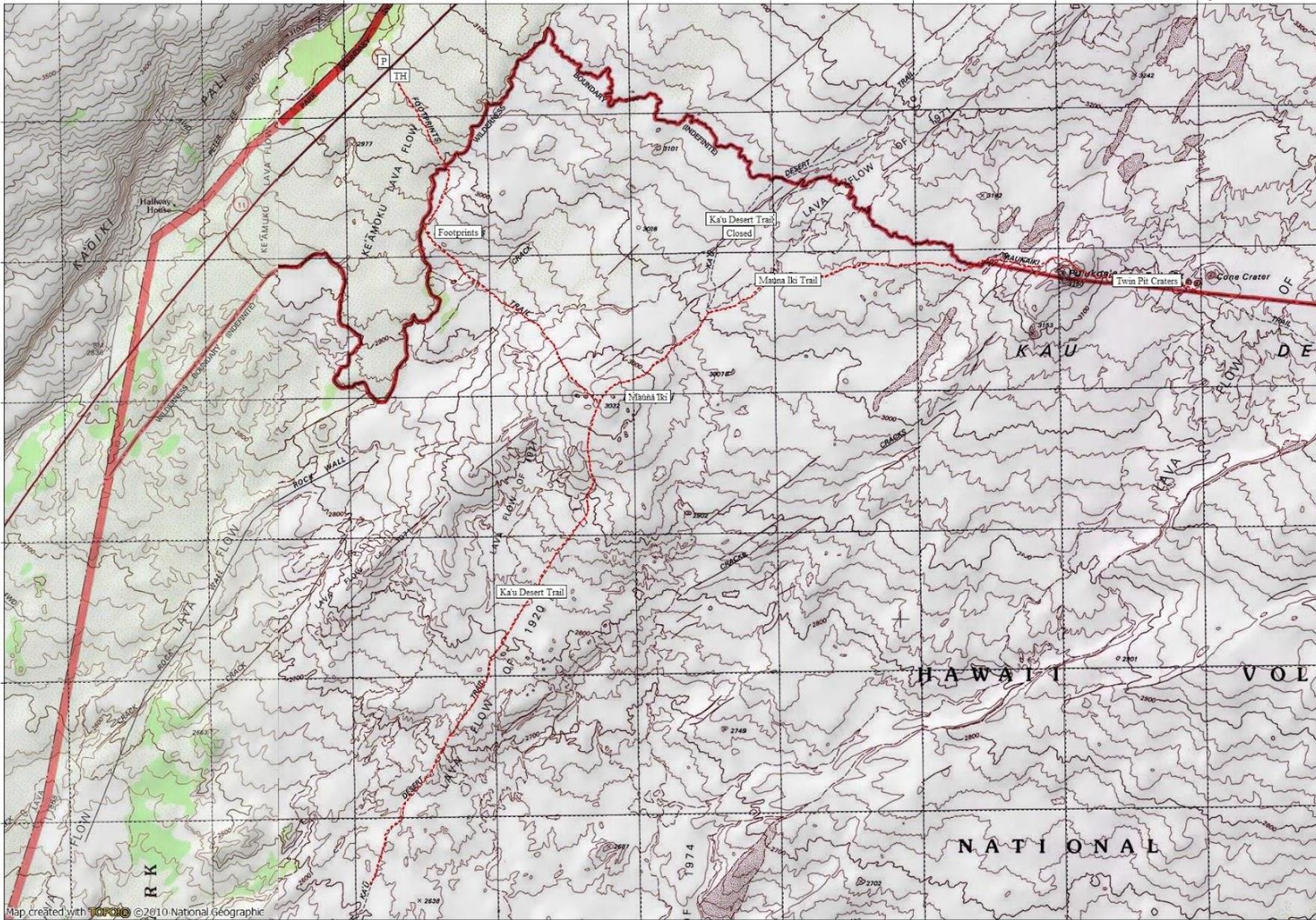


Ka'u Desert (www.bigislandhikes.com)

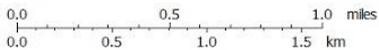
249000m E. 250000m E. 251000m E. 252000m E. 253000m E. 254000m E. 255000m E. 256000m E. WGS84 Zone 5Q 257000m E.

21.43000m N.  
21.42000m N.  
21.41000m N.  
21.40000m N.  
21.39000m N.  
21.38000m N.

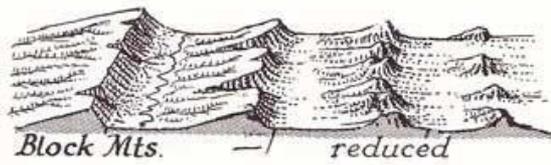
21.43000m N.  
21.42000m N.  
21.41000m N.  
21.40000m N.  
21.39000m N.  
21.38000m N.



Map created with TopoPic ©2010 National Geographic



07/07/12



Block Mts. — reduced



Complex mts. — glaciated

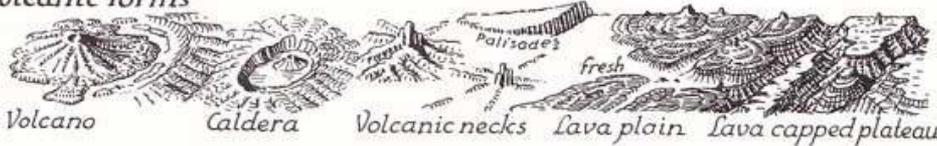


Complex Mts. — reduced — peneplain — rejuvenated —



gneissic — schistose — slaty mts. Glaciated shield fford

### Volcanic forms



Volcano Caldera Volcanic necks Lava plain Lava capped plateau

### Limestone



Sinkholes Knobs Lapias Bastions Karst Polje Mogotes Coral

### Glacial deposits



Moraines Drumlins Kames Eskers

# FORME VULCANICHE TARDIVE

---

- ✘ Forme particolari sono quelle che alimentano le fasi tardive dell'attività vulcanica, con emissione di fluidi gassosi e acqua ad alta temperatura
- ✘ Se raggiungono la superficie topografica si originano le sorgenti termo-minerali, legate al riscaldamento di acque che penetrano in profondità e si riscaldano

# LE TERME DI MONFALCONE

*Monfalcone Mangiande*

*Don. G. S. ...*

**YOU**  
reporter.it



CO  
AS

# I GEYSER

---

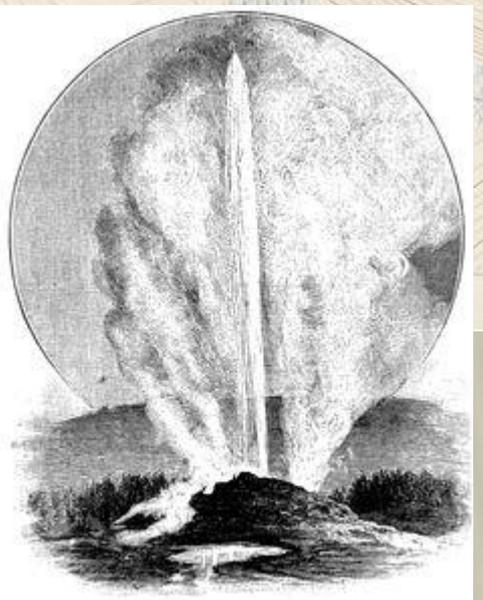
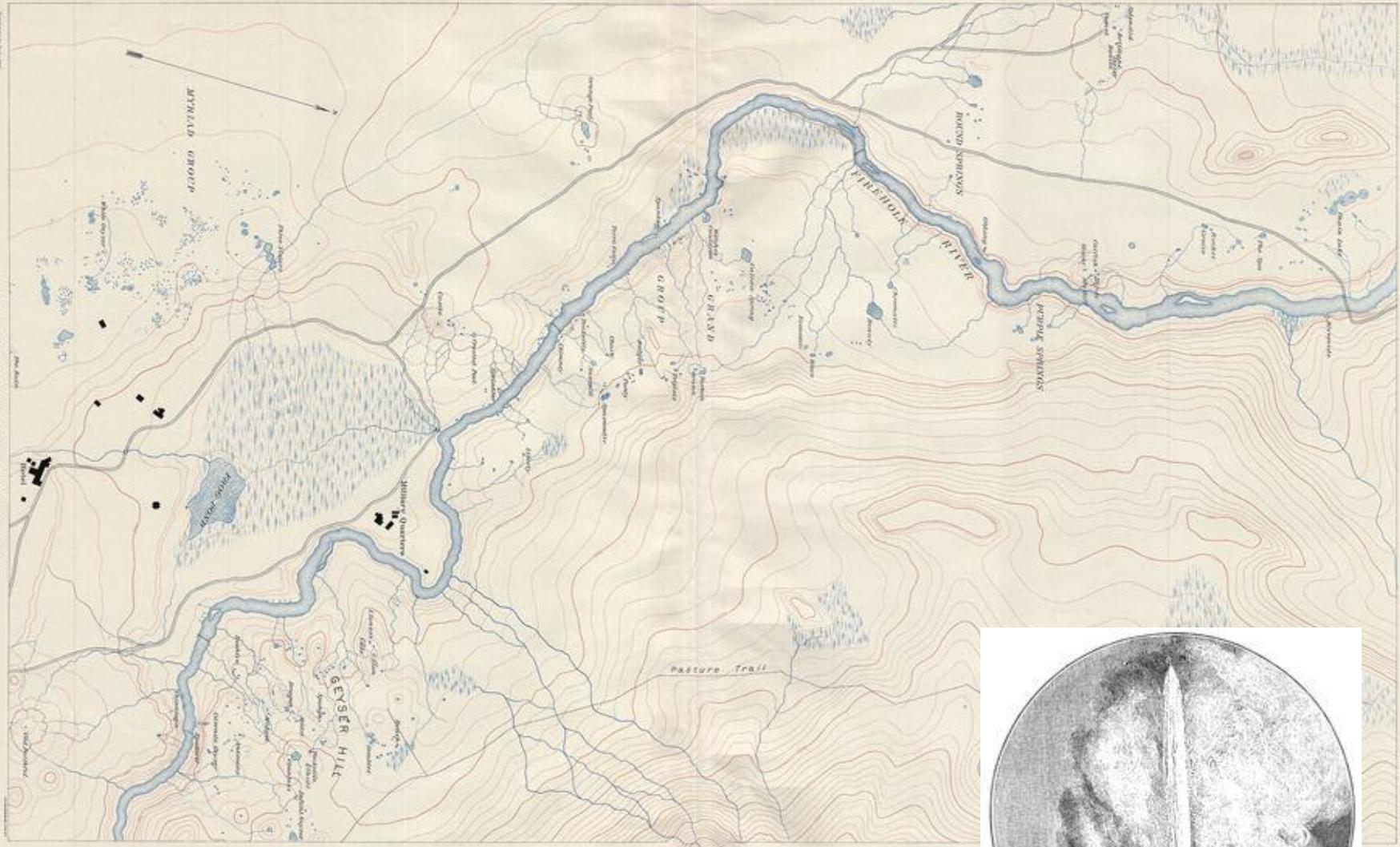
- ✘ Manifestazioni spettacolari composte da colonne di acqua bollente che periodicamente fuoriesce e può raggiungere parecchie decine fino a centinaia di metri. Sono legate sempre all'infiltrazione di acque meteoriche
- ✘ Altre emissioni di gas, fango, ecc, sono i vulcanetti di fango, le fumarole, le solfatare, le mofete, ecc)

(Yellowstone National Park, Wyoming, USA)



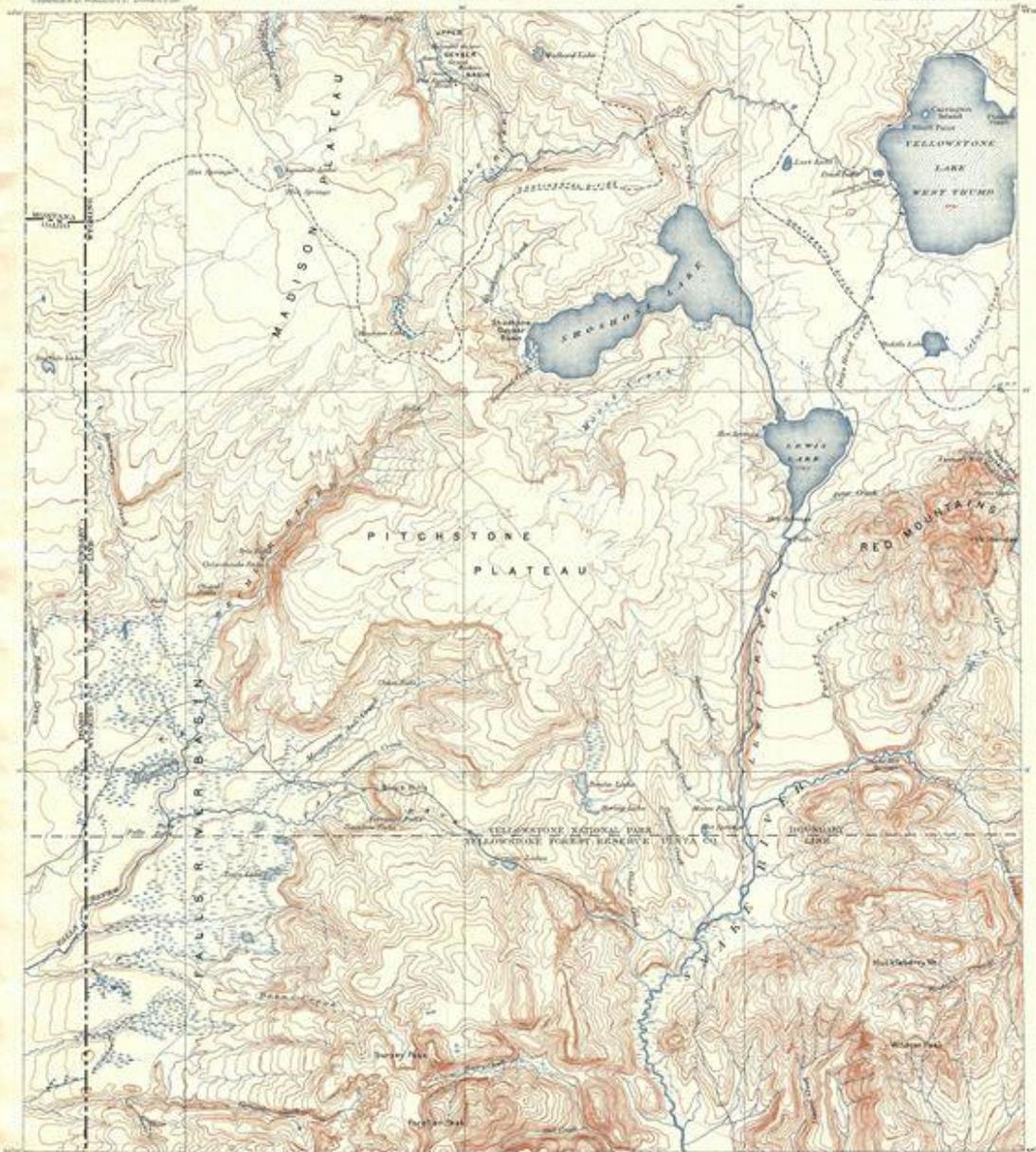


(Yellowstone National Park, Wyoming, USA)



CENTRAL PORTION OF UPPER GEYSERS BASIN

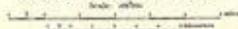
Scale: 1 inch = 1 mile  
Contour interval: 20 feet  
Elevation above sea level: 5000 feet



Henry J. Swarth, Chief Geographer  
J. F. Williams, Topographer in Charge  
Transferred by A. S. Jones  
Checked by W. H. Johnson, Forest Ranger  
Checked by C. A. Smith  
Revised in 1904



SHOSHONE SHEET



Contour Interval 100 Feet  
Elevations in Feet and Feet