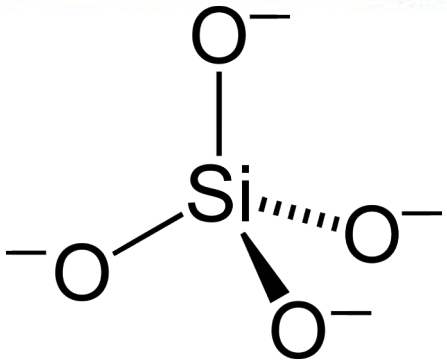
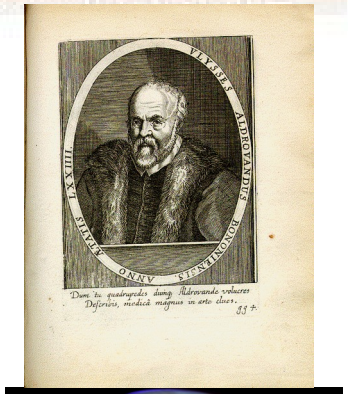


L'A.A.R. presenta:

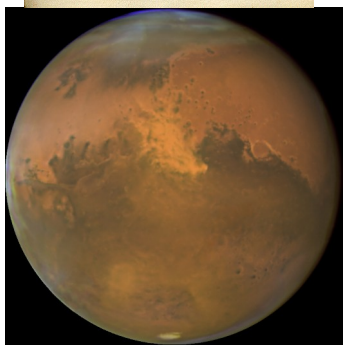
CORSO DI ASTRONOMIA DI BASE

Geologia nel sistema solare

A cura di Ubaldo Ferri



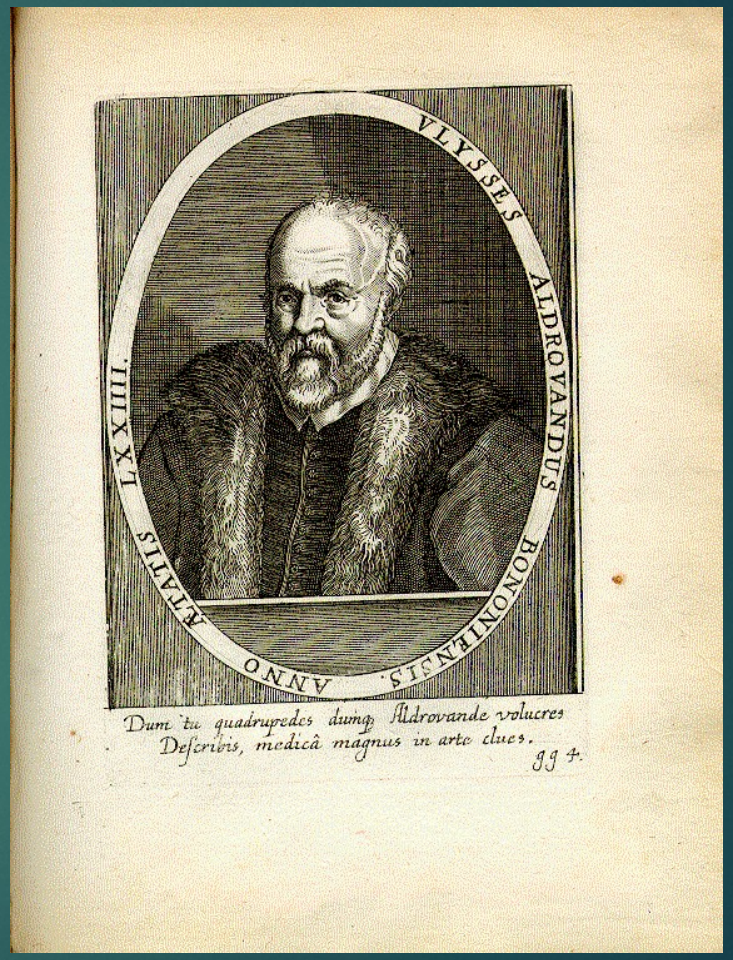
Savignano sul Rubicone



01/03/2024

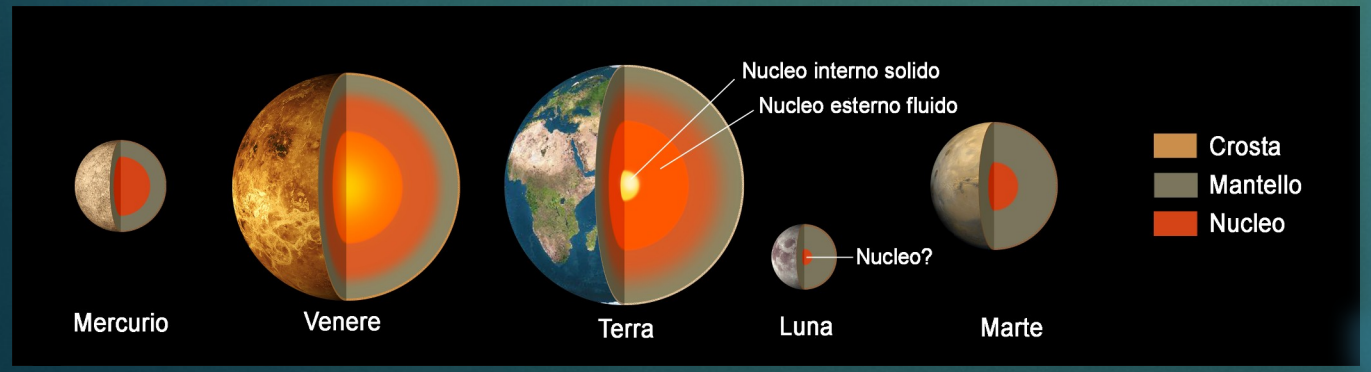
Un’invenzione «bolognese»

- La parola Geologia, o meglio *«giologia»* nella lingua dell’epoca, compare la prima volta nel testamento del naturalista bolognese Ulisse Aldrovandi, con riferimento alle cose «fossili», cioè scavate dalla terra.
- Era l’anno 1603, e l’insigne studioso affidava al Senato bolognese la sua raccolta di libri e cimeli di animali, piante e, appunto, di reperti minerali, realizzando così il primo museo naturalistico aperto al pubblico.
- Dal greco geo-, terra e logos, discorso.



Pianeti rocciosi e gassosi

- Pianeti rocciosi: Mercurio, Venere, Terra, Marte
- Piccole dimensioni
- Nuclei metallici ricchi di Fe
- Mantelli rocciosi
- Superficie solida
- Alta densità



- Pianeti gassosi: Giove, Saturno, Urano, Nettuno

- Grandi dimensioni
- Piccoli nuclei solidi
- Mantelli di idrogeno metallico
- Superficie gassosa
- Bassa densità

Linea della neve (Frost line)

- Situata idealmente nel nostro sistema solare tra le orbite di Marte e di Giove (2,7 UA), permette al suo esterno ad acqua, metano, ammoniaca di solidificare, formando corpi ghiacciati quali comete, lune ghiacciate e oggetti transnettuniani
- Essa segna anche un confine ideale al di là del quale sono stati spinti i gas durante la formazione del Sistema solare da parte del vento solare, lasciando al suo interno i piccoli pianeti rocciosi o terrestri, ed esternamente i giganti gassosi
- Durante la formazione del Sistema solare, nella parte interna i planetesimi si sono aggregati a formare i pianeti rocciosi, invece i gas sono stati spinti dal vento solare all'esterno della Frost line, dove hanno formato per condensazione i giganti gassosi ed i corpi minori ghiacciati

I minerali

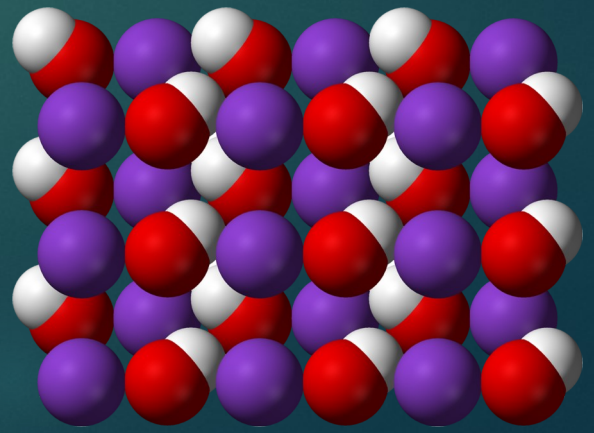
- Sostanza solida naturale, con composizione chimica definita e con disposizione degli atomi regolare ed ordinata nello spazio (reticolo cristallino), in equilibrio con le condizioni fisico-chimiche di formazione.
- Elementi più comuni nella crosta terrestre, in % di peso:

Ossigeno	46,6
Silicio	27,7
Alluminio	8,1
Ferro	5,0
Calcio	3,6
Sodio	2,8
Potassio	2,6
Magnesio	2,1

Di Ra'ike (see also: de:Benutzer:Ra'ike) - Opera propria, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4261339

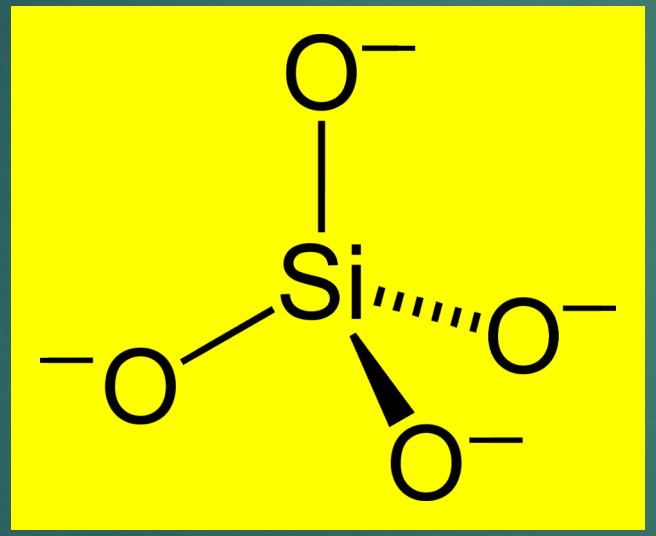
Classificazione:

- Elementi nativi
- Solfuri
- Alogenuri
- Ossidi, Idrossidi
- Nitrati, Carbonati, Borati
- Solfati
- Fosfati, Arseniati, Vanadati
- Silicati
- Sostanze organiche



Silicati

- E' il gruppo più diffuso e numeroso di minerali della crosta terrestre
- Ogni ione di silicio coordina 4 ioni ossigeno secondo la formula $[SiO_4]^{4-}$, che in 3 dimensioni ha la forma di un tetraedro



- Le cariche negative si possono neutralizzare con ioni positivi, oppure i tetraedri si possono unire in strutture a 1, 2 o 3 dimensioni.

Le rocce

Sono aggregati naturali composti da diversi minerali oppure da uno solo, raramente da sostanze non cristalline.

Sono prodotte dai seguenti processi naturali:

- Processo magmatico 35-40% della superficie delle terre emerse
- Processo sedimentario 5% «
- Processo metamorfico 55-60% «

Processo magmatico

Le rocce derivano dalla solidificazione per raffreddamento di un magma, miscela di sostanze minerali fuse, in genere silicati, e di gas (acqua, altri fluidi)

- Se solidificano in profondità, il raffreddamento è in genere lento e si formano rocce a struttura granulare, con cristalli ben evidenti, tipo granito
- Se il magma arriva in superficie, perde i gas, si raffredda rapidamente, diventa lava e le rocce risultanti hanno cristalli molto piccoli , come nel basalto, o assenti (vetri ossidiane)

In base alla composizione chimica avremo:

- Magmi acidi, ricchissimi in silicio e alluminio
- Magmi neutri, di composizione intermedia
- Magmi basici, poveri in silicio, ricchi in Ferro, magnesio e calcio

Il Basalto

E' una roccia effusiva di origine vulcanica, di colore scuro o nero con un contenuto di silice (SiO_2) relativamente basso (dal 45 al 52% in peso). Alcuni basalti possono essere anche ricchi in olivina.

Poiché deriva da una lava molto fluida, forma colate molto estese.

Forma i fondali sottomarini di crosta oceanica.

Basalto colonnare, da eruzione subaerea

Basalto a cuscini, da eruzione sottomarina

Crediti: Vikipedia, NOAA

Il granito

- E' una roccia ignea intrusiva a grana da media a grossolana, sovrasatura in silice, composta soprattutto di feldspati, quarzo e miche. Il colore è chiaro, da bianco a rosa. Forma grosse intrusioni nella crosta continentale (plutoni, batoliti). Si ritiene che si formi o per cristallizzazione frazionata nelle camere magmatiche o per metamorfismo estremo ad alta temperatura con ri-fusione delle rocce (anatessi)

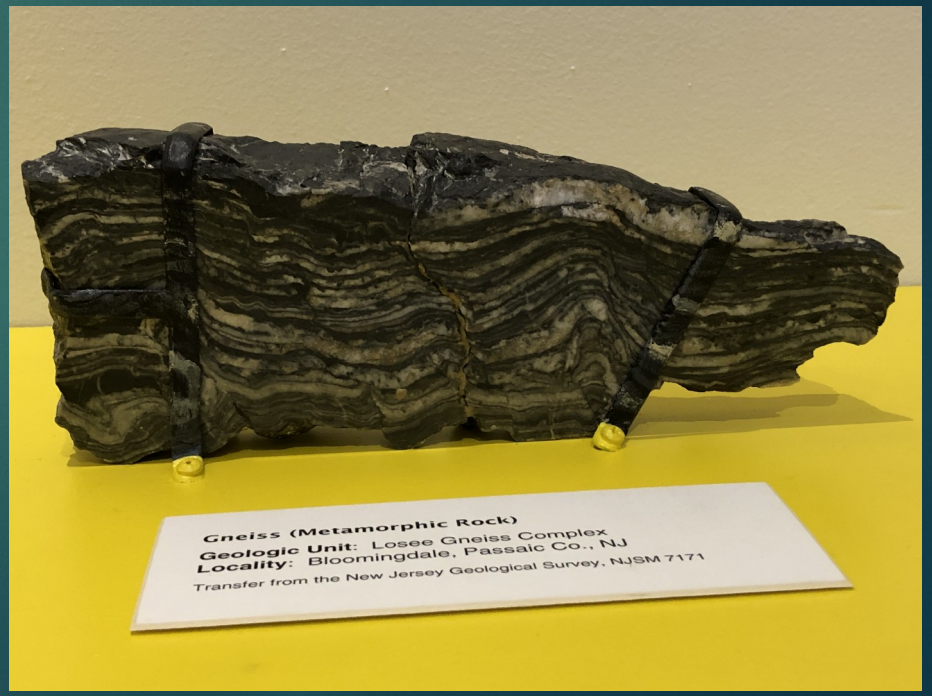
- Crediti Foto: Reinhard Kraasch, Lizenz: CC-BY-SA 4.0 DE, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=128074114

Processo sedimentario

- Le rocce sedimentarie sono caratterizzate in genere dalla stratificazione
- In base al modo di formazione, si distinguono in clastiche o terrigene, organogene, chimiche

Processo metamorfico

- Rocce che derivano dalla trasformazione (metamorfismo) allo stato solido di rocce preesistenti, a causa di forti cambiamenti di pressione e/o di temperatura
- Metamorfismo regionale: rocce coinvolte in scontri tettonici
- Metamorfismo termico: rocce scaldate da intrusioni di magma
- Basso grado: scistosità



- Di Famartin - Opera propria, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=141643486

Una considerazione sull'interno della Terra

Il volume V della Terra è pari a $1{,}083 \times 10^{21}$ m^3; la sua massa M, ottenuta con le leggi della gravitazione, è di $5{,}976 \times 10^{24}$ kg: dal rapporto massa/volume si ottiene

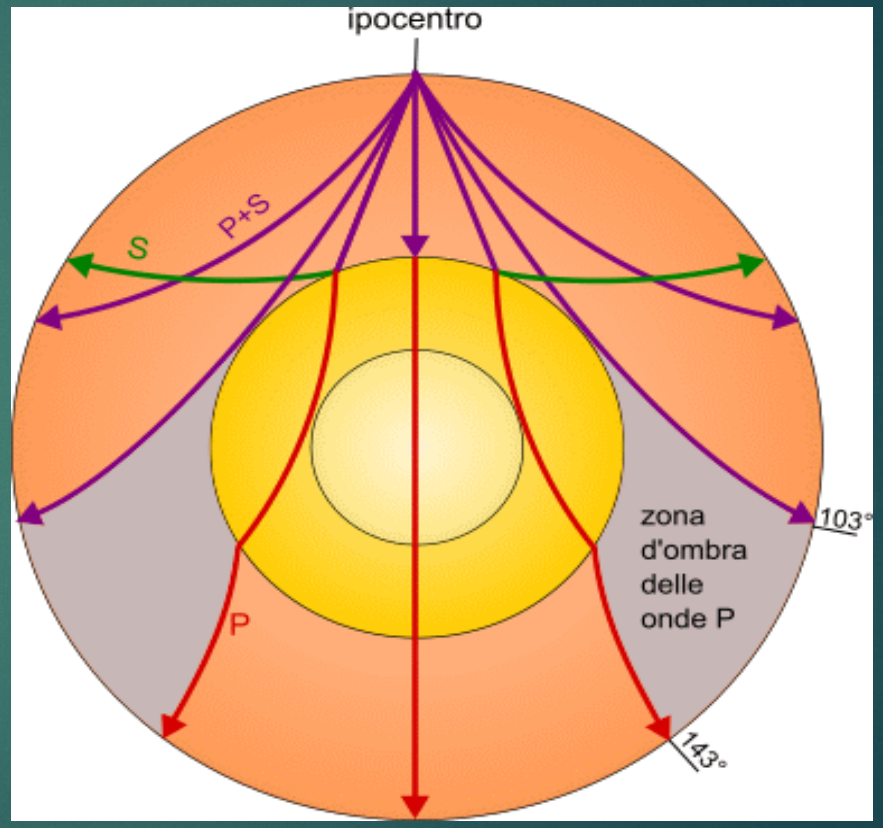
$D = M/V = 5520$ kg/m^3 pari a 5,52 g/cm^3

Ma le rocce della crosta hanno una densità compresa tra 2,7 e 3, allora l'interno deve essere più denso della media

Un aiuto ci può venire dalle…

Onde sismiche e struttura interna

- Da un terremoto si generano:
- Onde P: si propagano in ogni mezzo
- Onde S o di taglio: non si propagano nei fluidi
- Onde di superficie



- Crediti immagine: G.M.P.E.

Struttura e composizione dell'interno della Terra

Sulla base di questi dati, si ipotizza la seguente suddivisione:

1a crosta oceanica (Basalto)

1b crosta continentale (Granito)

2 mantello (Rocce ultrabasiche)

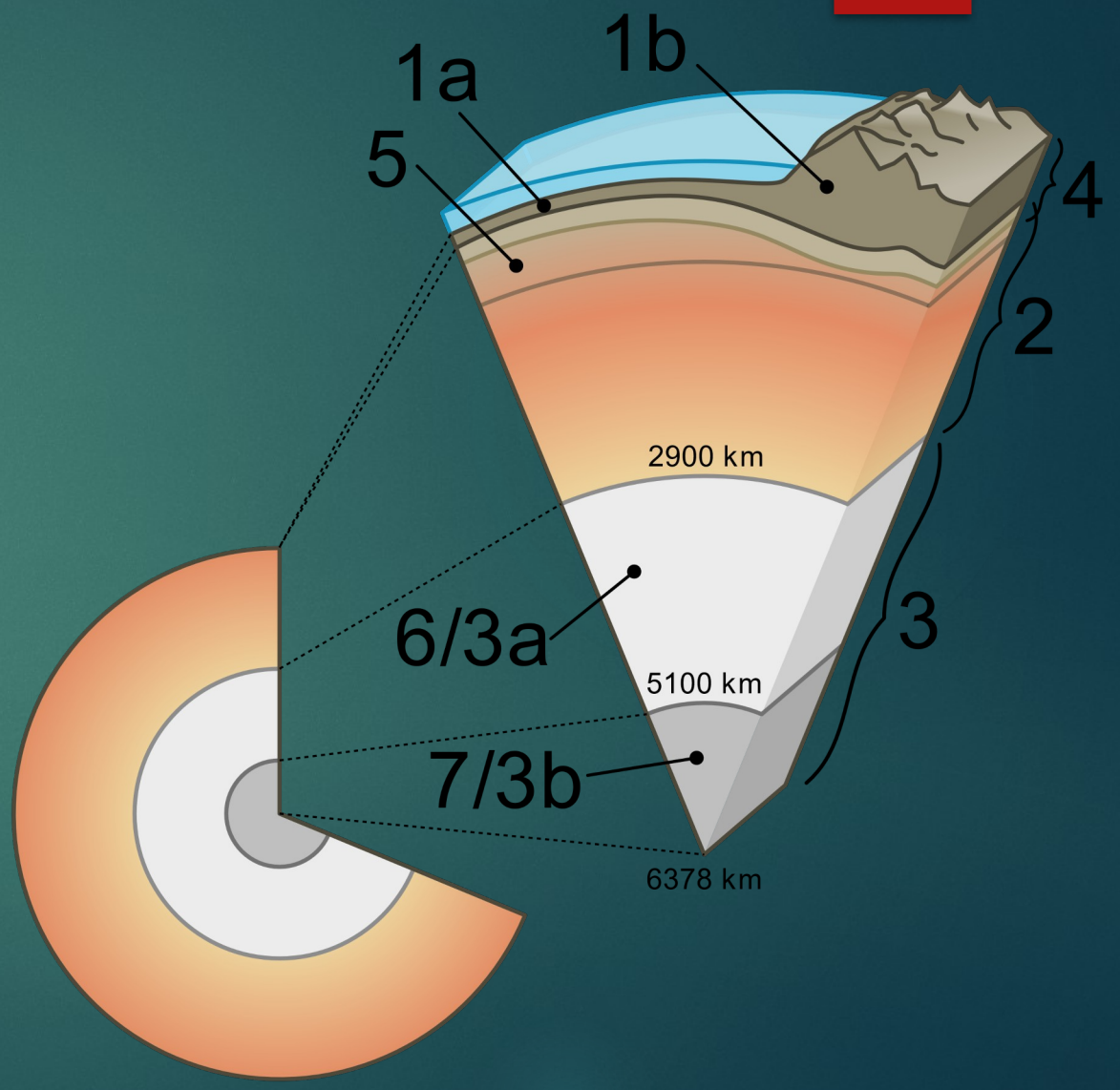
3 nucleo (3a esterno fluido, 3b solido) (Lega Fe-Ni, con S e Si?)

Per essere più pignoli, all'esterno troviamo:

4 Litosfera: crosta+mantello superficiale

5 Astenosfera: strato parzialmente fuso

I vari involucri sono separati da superfici di discontinuità sismica, che separano materiali dalle proprietà meccaniche diverse

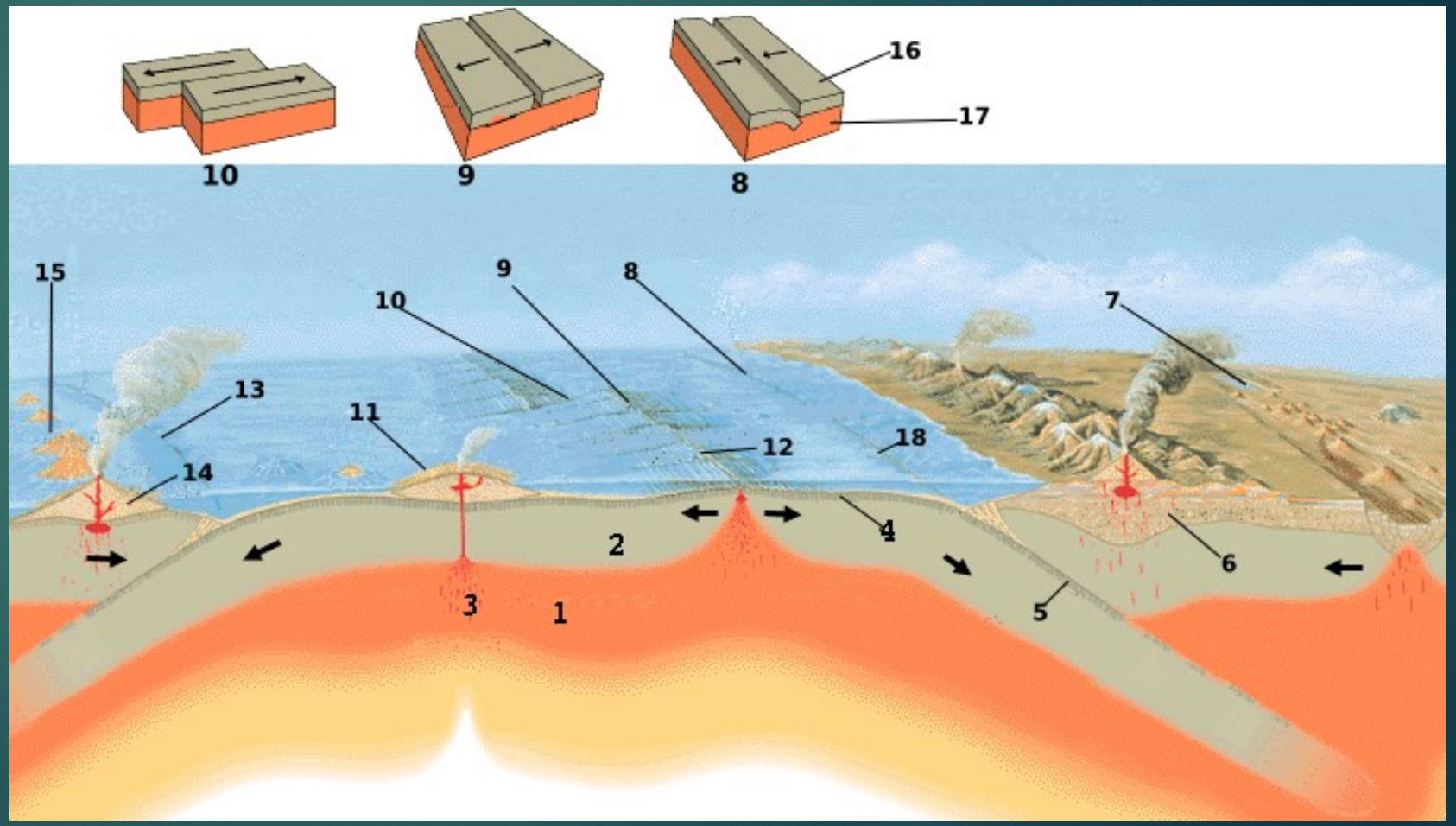


Sulla Terra…

- Agisce la tettonica a placche: la crosta è suddivisa in un mosaico di placche o zolle litosferiche, che si muovono scivolando sull'astenosfera
- Terremoti e vulcani si verificano soprattutto ai margini delle placche

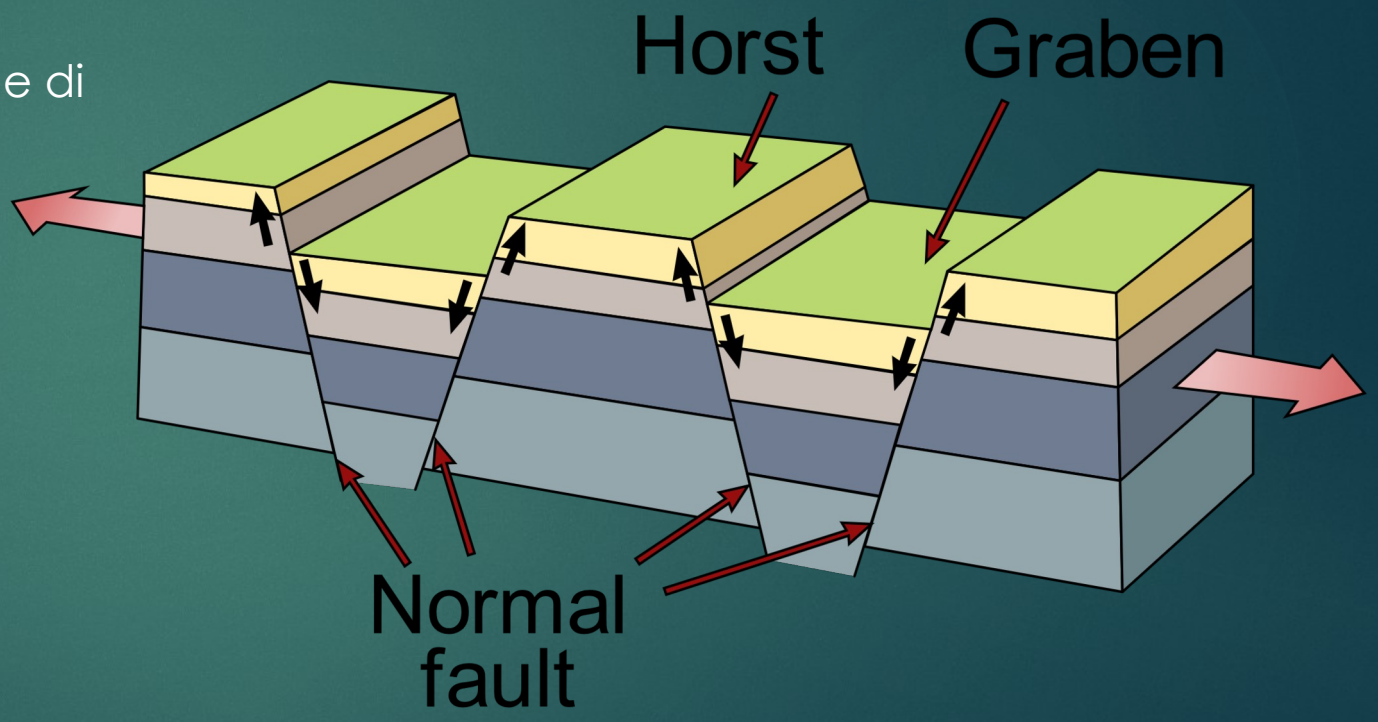
Le placche possono…

- 9 separarsi in un margine divergente (dorsale)
- 8 scontrarsi in un margine convergente (subduzione)
- 10 scorrere a fianco (trasformi)
- Da notare inoltre:
- 1 astenosfera
- 2 litosfera
- 3 punti caldi con:
- 11 vulcani a scudo
- 7 nuova dorsale



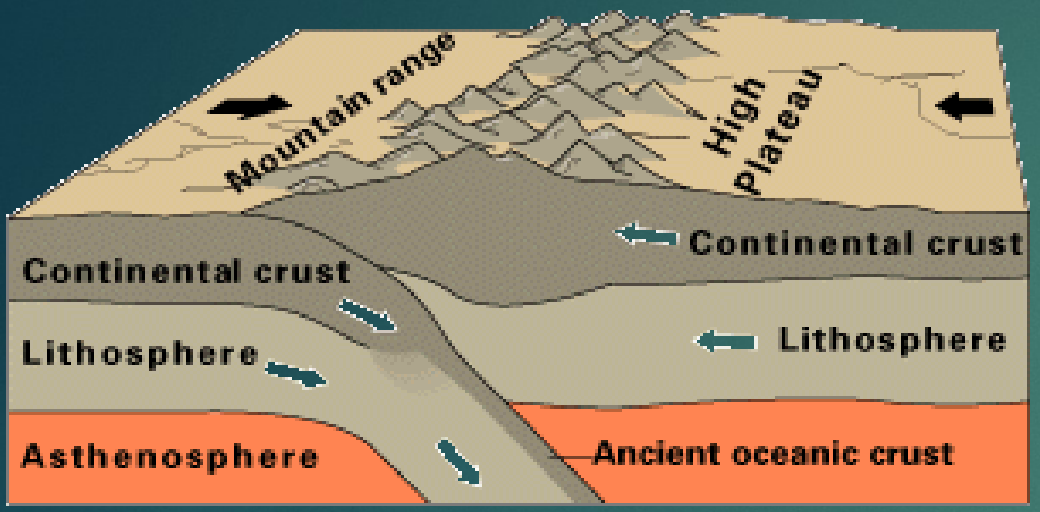
Tettonica distensiva

- Estensione della crosta con formazione di faglie dirette o normali
- Collasso di blocchi intermedi e formazione di fosse tettoniche (Graben) e rilievi (Horst) delimitati da sistemi di faglie parallele
- Esempio: Rift valley in Africa Orientale
- Sulla Terra è causata dalla tettonica a placche
- Sulla Luna è dovuta al collasso del riempimento basaltico dei «mari»

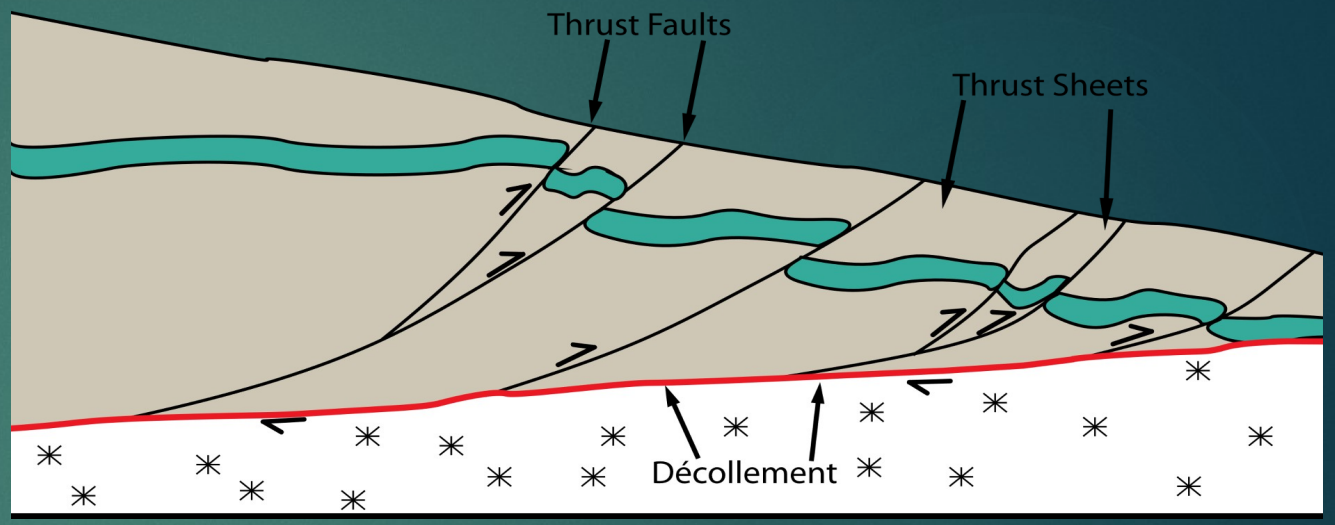


- Di Horst_graben.jpg: U.S. Geological Surveyderivative work: Gregors (talk) 11:17, 7 June 2011 (UTC) – Horst_graben.jpg, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15432947valley

Tettonica convergente



Continental-continental convergence



In seguito alla collisione di due placche di crosta continentale si formano faglie inverse e scorrimenti di falde della crosta l'una sull'altra con accorciamento della crosta

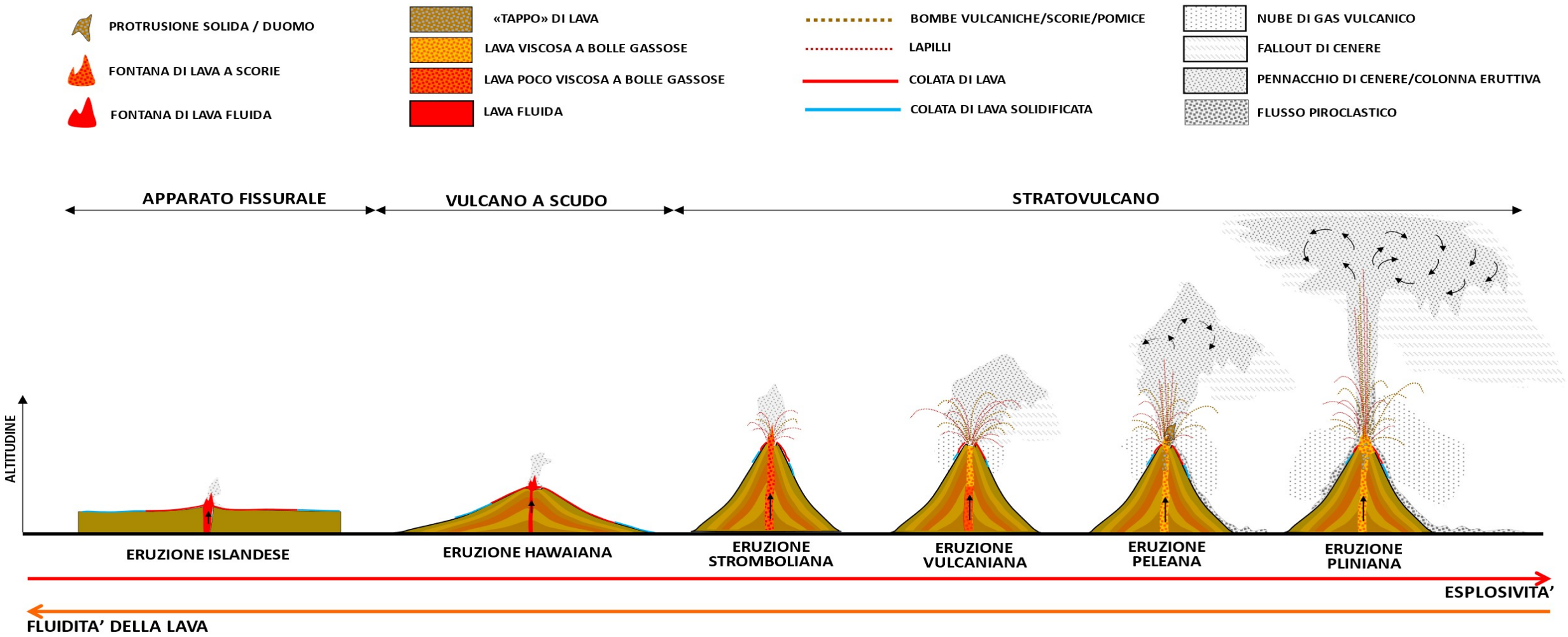
Se una placca è di crosta oceanica, più densa, va in subduzione e forma un arco vulcanico sull'altra

Di Tberli3, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=105269318

Vulcani

- Si formano per la risalita di magma (roccia fusa+gas) dalla crosta inferiore o dal mantello superiore, che può avvenire lungo un condotto (vulcani centrali) oppure lungo spaccature (vulcani lineari).
- Se il magma arriva in superficie, perde i gas e diventa lava.
- La forma degli edifici vulcanici dipende dal tipo di materiale eruttato.
- Magma fluido basaltico, povero di silice, se risale lungo spaccature forma per effusione di lava le dorsali oceaniche o estesi plateaux come il Deccan in India, se percorre un condotto centrale forma i vulcani a scudo, tipici dei punti caldi.
- Magma più viscoso o «acido», ricco di silice, che si forma dentro la crosta, produce vulcani conici a strato con attività più esplosiva con prevalenza di piroclastiti sulle lave.

TIPI DI EDIFICI VULCANICI E CARATTERISTICHE ERUTTIVE



Di Antonov (Antonio Valdisturlo) - Opera propria, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=118298663

Sulla crosta terrestre i vulcani non sono distribuiti a caso:

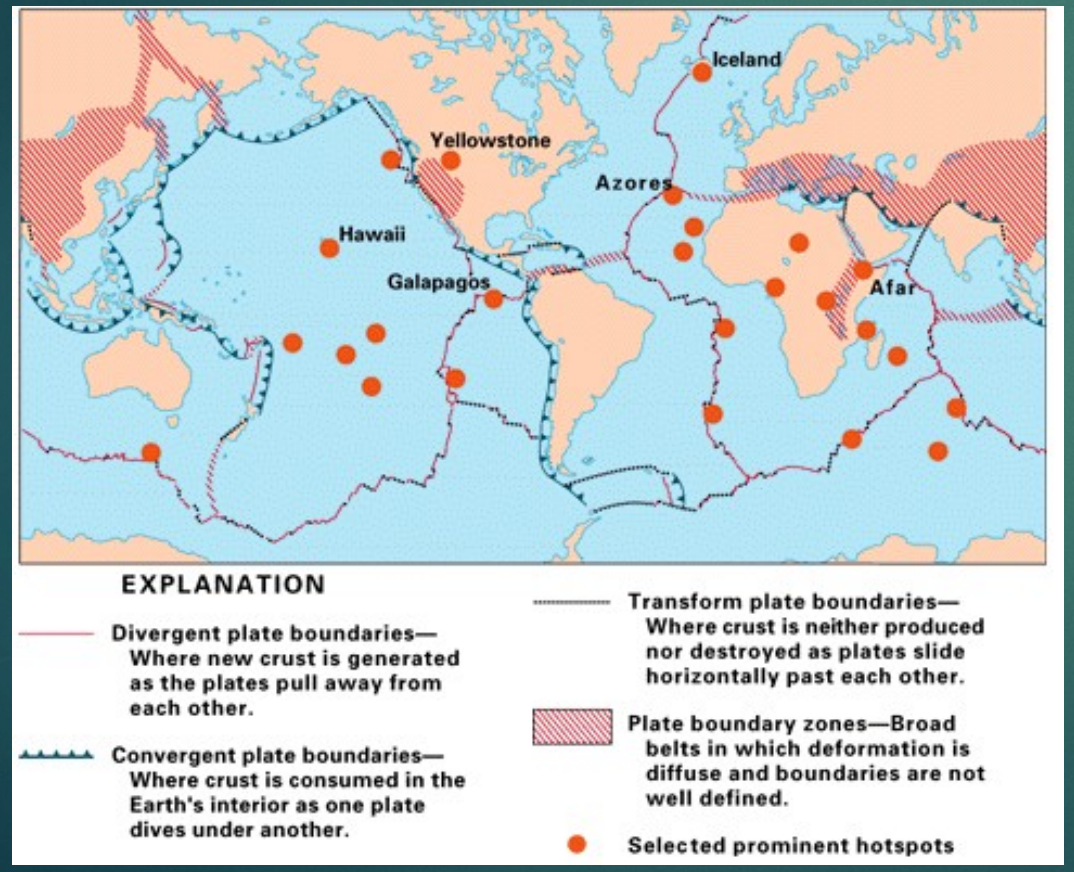
Vulcani sottomarini effusivi si trovano lungo le dorsali medio-oceaniche;

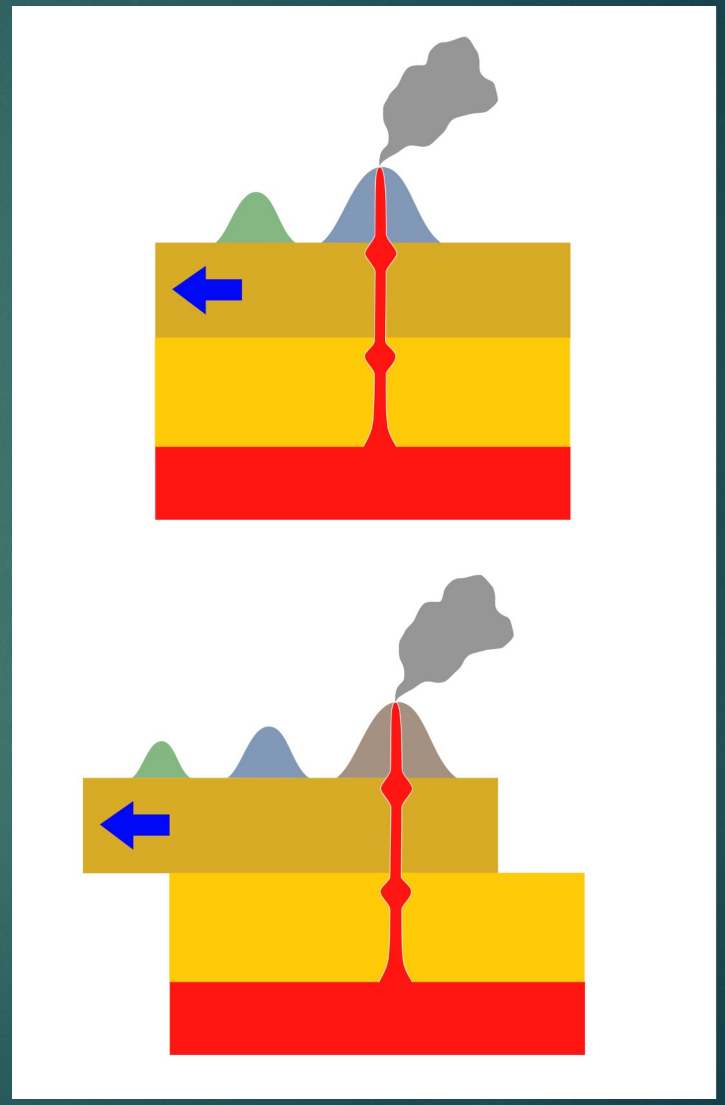
Vulcani effusivo-esplosivi si localizzano vicino alle fosse di subduzione (es. Giappone) oppure ai margini dei continenti (es. catena delle Ande);

Vulcani interni alle placche oceaniche o continentali sono collegati ai punti caldi

Punti caldi (Hot spots)

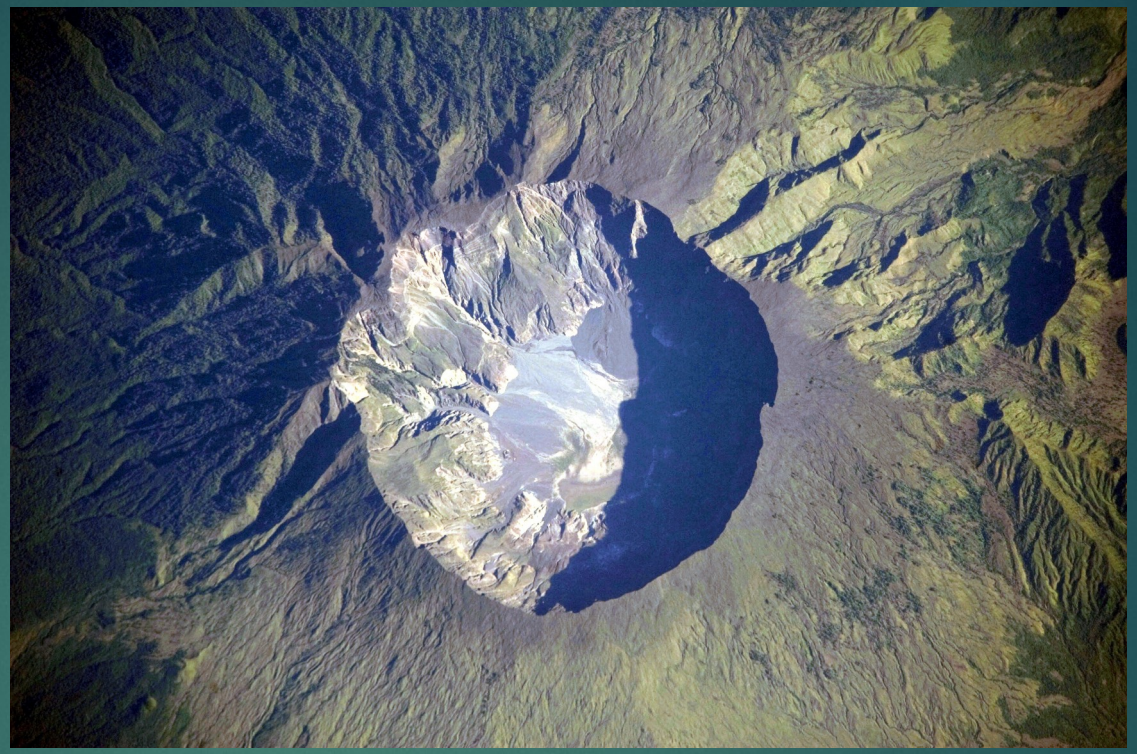
- Risalite di magma dal mantello che perforano la crosta soprastante e formano dei vulcani
- Sulla Terra, poiché le placche si muovono, i vulcani formano degli allineamenti, come le isole Hawaii

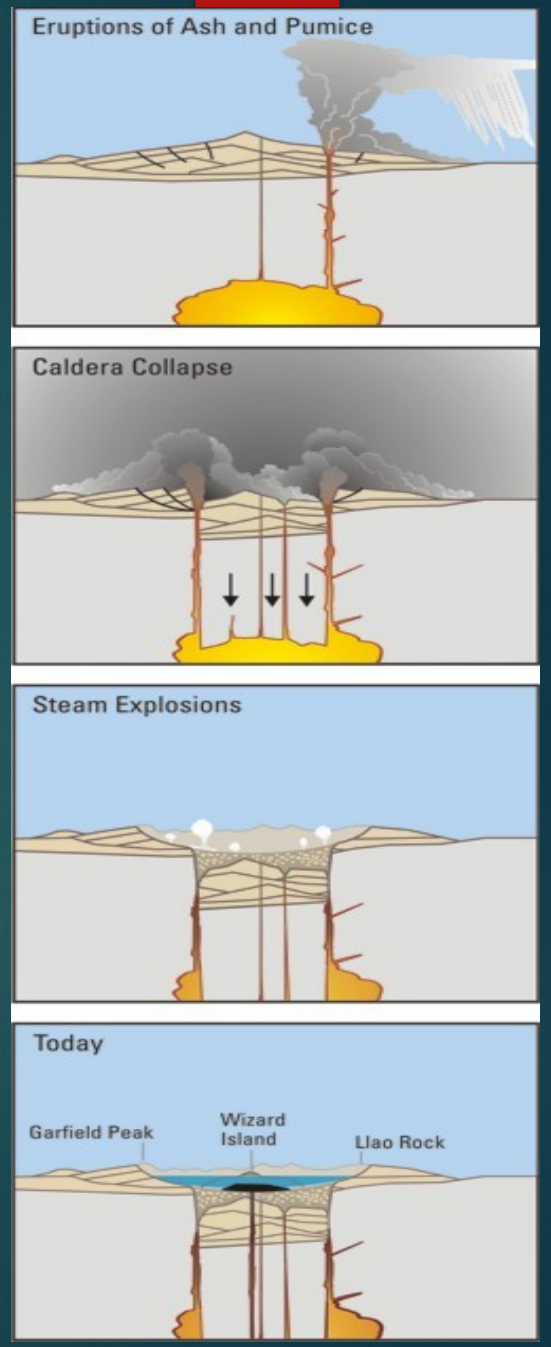




Caldere

- Depressioni dei vulcani che si formano quando si esaurisce il contenuto della camera magmatica o quando il suo contenuto esplode



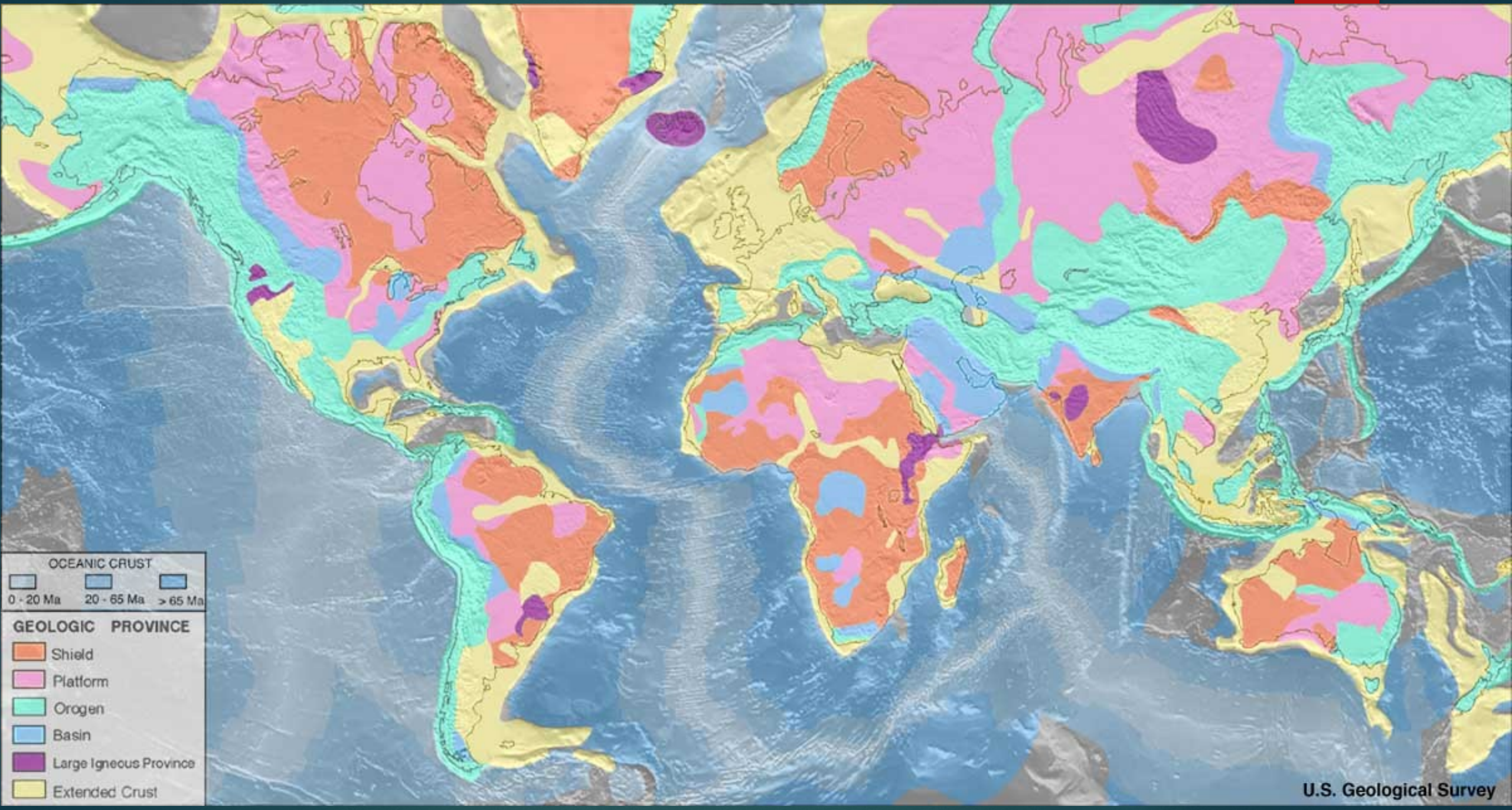


- Di U.S. GEOLOGICAL SURVEY and the NATIONAL PARK SERVICE - http://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs092-02/ (saved as PNG), Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=667211

Orogenesi (formazione delle catene montuose)

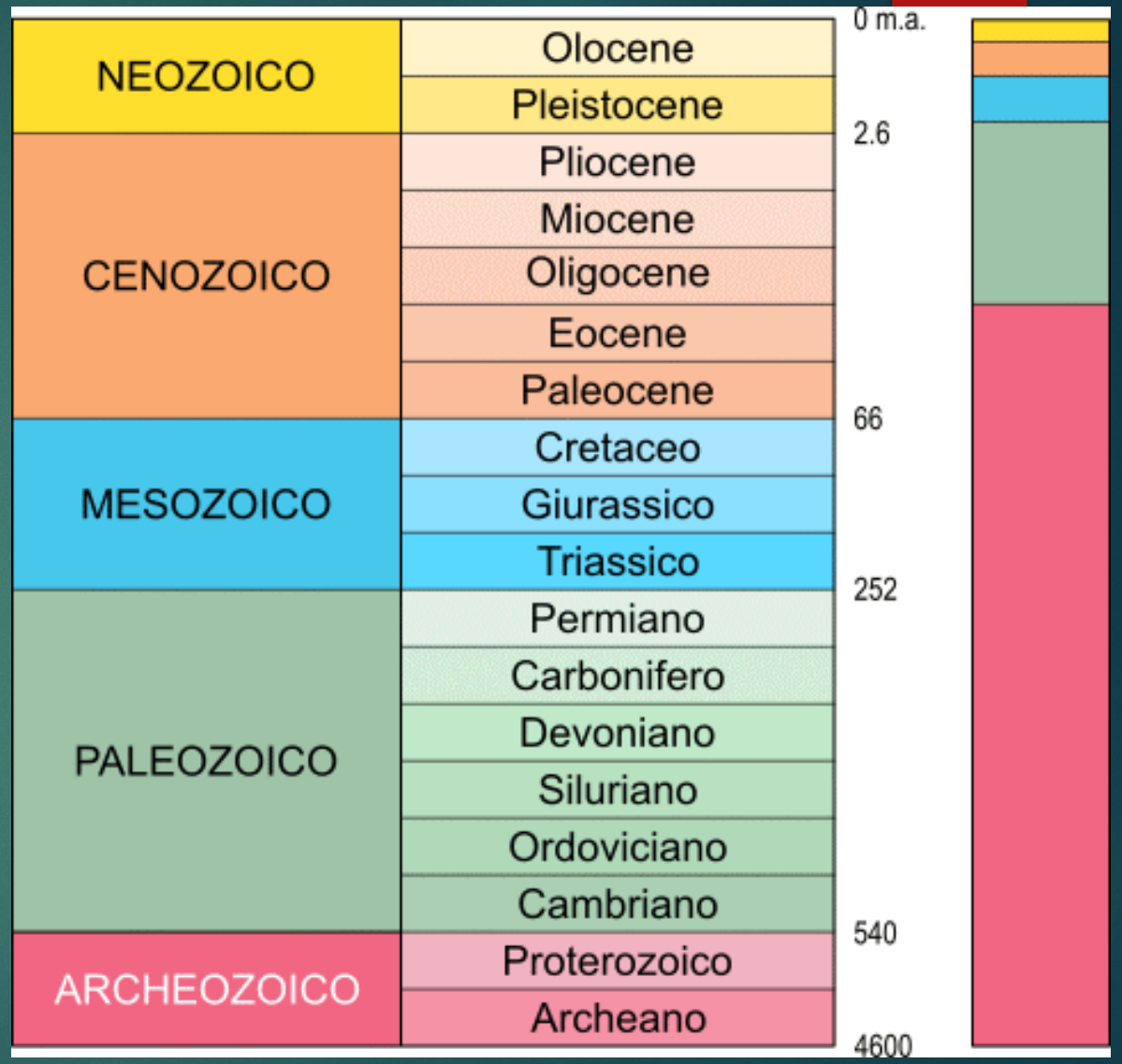
- Sulla Terra è soprattutto una conseguenza dello scontro delle placche
- La crosta continentale non può essere subdotta, quindi si deforma e si impila sulla superficie
- L'orogenesi più recente, tuttora in corso, è quella alpino-himalaiana

Crediti: immagine Jo weber


OCEANIC CRUST
0 - 20 Ma
20 - 65 Ma
> 65 Ma
GEOLOGIC PROVINCE
Shield
Platform
Orogen
Basin
Large Igneous Province
Extended Crust
U.S. Geological Survey

Ere geologiche

- Suddivisioni cronologiche della storia della Terra, basate su eventi paleontologici (es. estinzioni di massa)
- Nell'immagine non sono in scala!



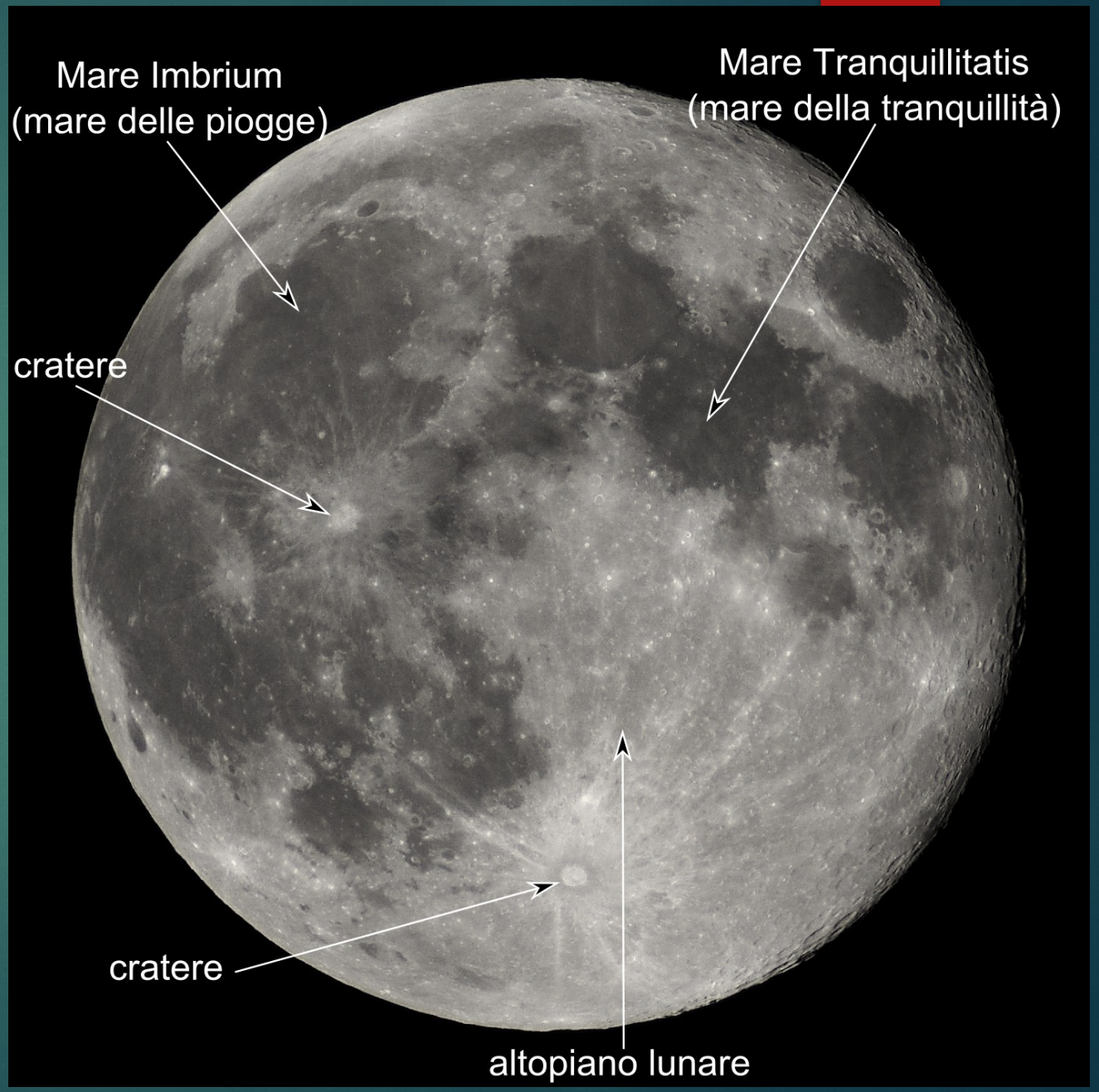
- Crediti : Gruppo Mineralogico Paleontologico Euganeo, https://stratigraphy.org/

La Luna

- Fin dall'antichità sono state notate zone chiare e scure
- Galileo notò che c'erano anche montagne e crateri
- Rivolge sempre la stessa faccia verso la Terra

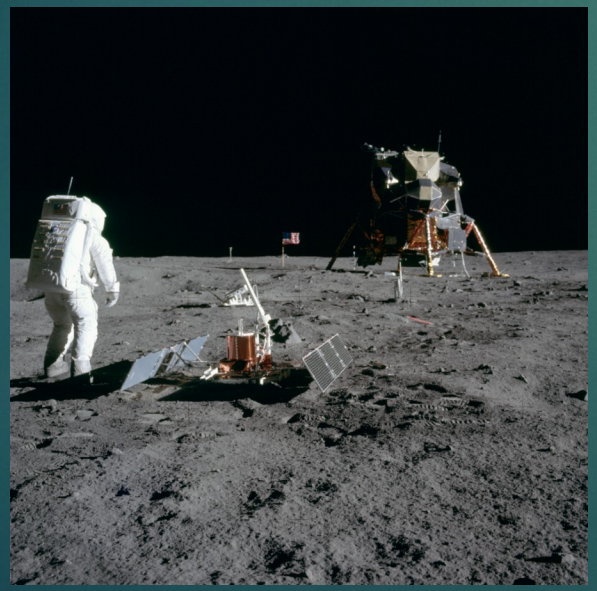
Oggi sappiamo che:

- Le regioni chiare (terre alte) sono montuose: hanno più crateri → sono più antiche
- Le regioni scure (mari) sono pianure di basalto: pochi crateri → sono più recenti



Studio della Luna

- Osservazioni dalla Terra
- Osservazioni da satelliti
- Campionamenti e studi geofisici in loco (sonde e missioni Apollo)



Luna minerale o mineral moon

- Tecnica astrofotografica che permette di evidenziare i reali colori della superficie lunare, che dipendono dalla sua composizione chimica
- Aree rosse: povere di ferro
- Aree blu: ricche di titanio
- NB: i colori sono saturati

- Crediti: NASA

Ere «geologiche» lunari

- Pre-Nettariano, da 4550 a 3920 milioni di anni fa – formazione con crosta inizialmente fusa e successivo raffreddamento con differenziazione e formazione delle terre alte di anortosite. Bombardamento meteorico di planetesimi.
- Nettariano, da 3920 a 3850 milioni di anni fa – Intenso Bombardamento Tardivo e formazione del Mare Crisium e del Mare Nectaris
- Imbriano da 3850 a 3800 milioni di anni fa – suddiviso in:

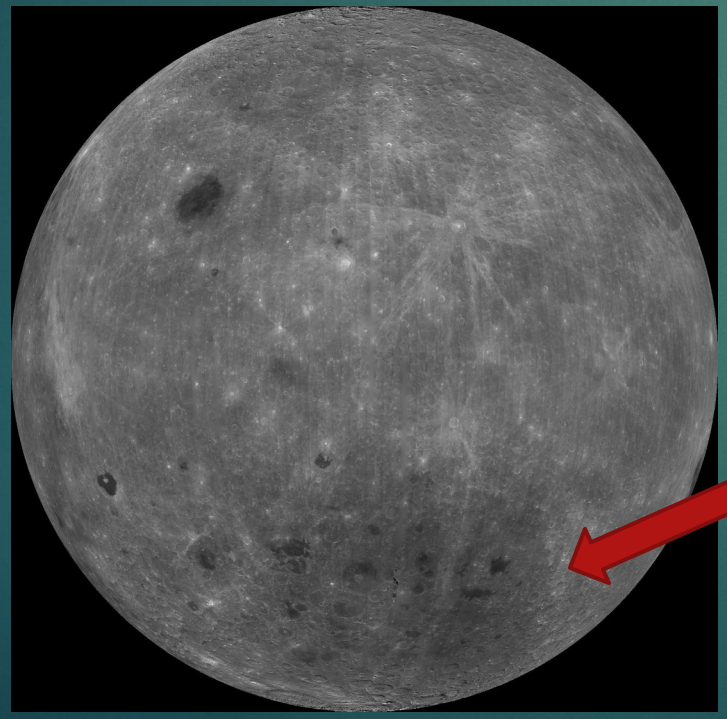
  - Inferiore: formazione del bacino del Mare Imbrium e successivamente degli altri

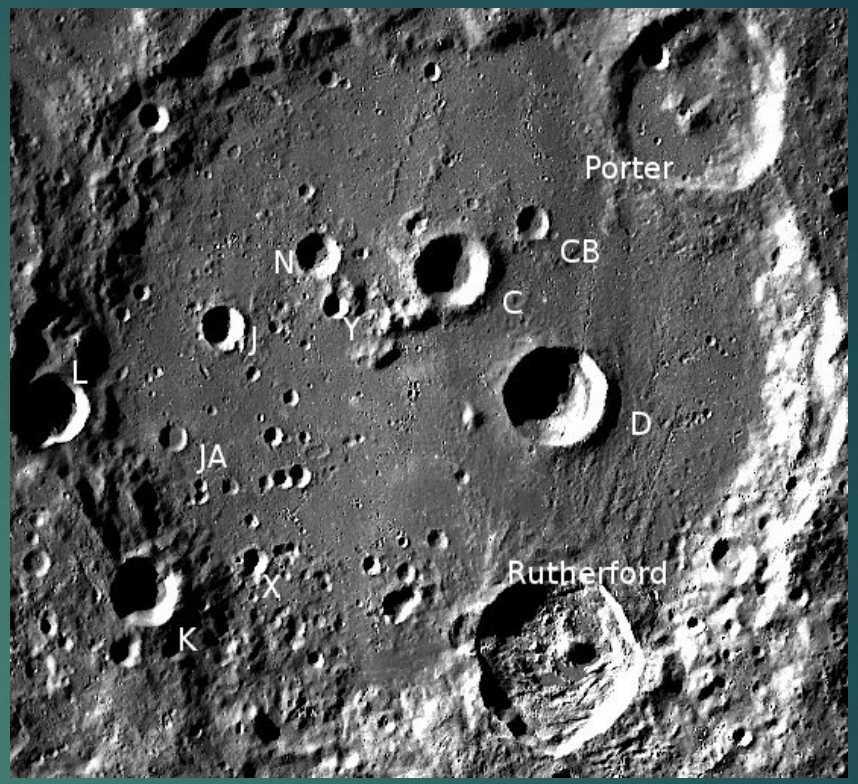
  - Superiore: riempimento dei bacini con lava basaltica proveniente dal mantello
- Eratosteniano, da 3200 a 1100 milioni di anni fa – dalla formazione del cratere Eratosthenes a quella di Copernicus. Eruzioni vulcaniche e tettonica nei bacini dei mari
- Copernicano, da circa 1100 milioni di anni fa ad oggi – formazione dei crateri più recenti, continuazione della tettonica dei bacini. Attività sismica mareale e da impatti meteorici.

Crateri

Sono causati prevalentemente da impatti meteorici

Crateri più recenti possono sovrapporsi a crateri più antichi



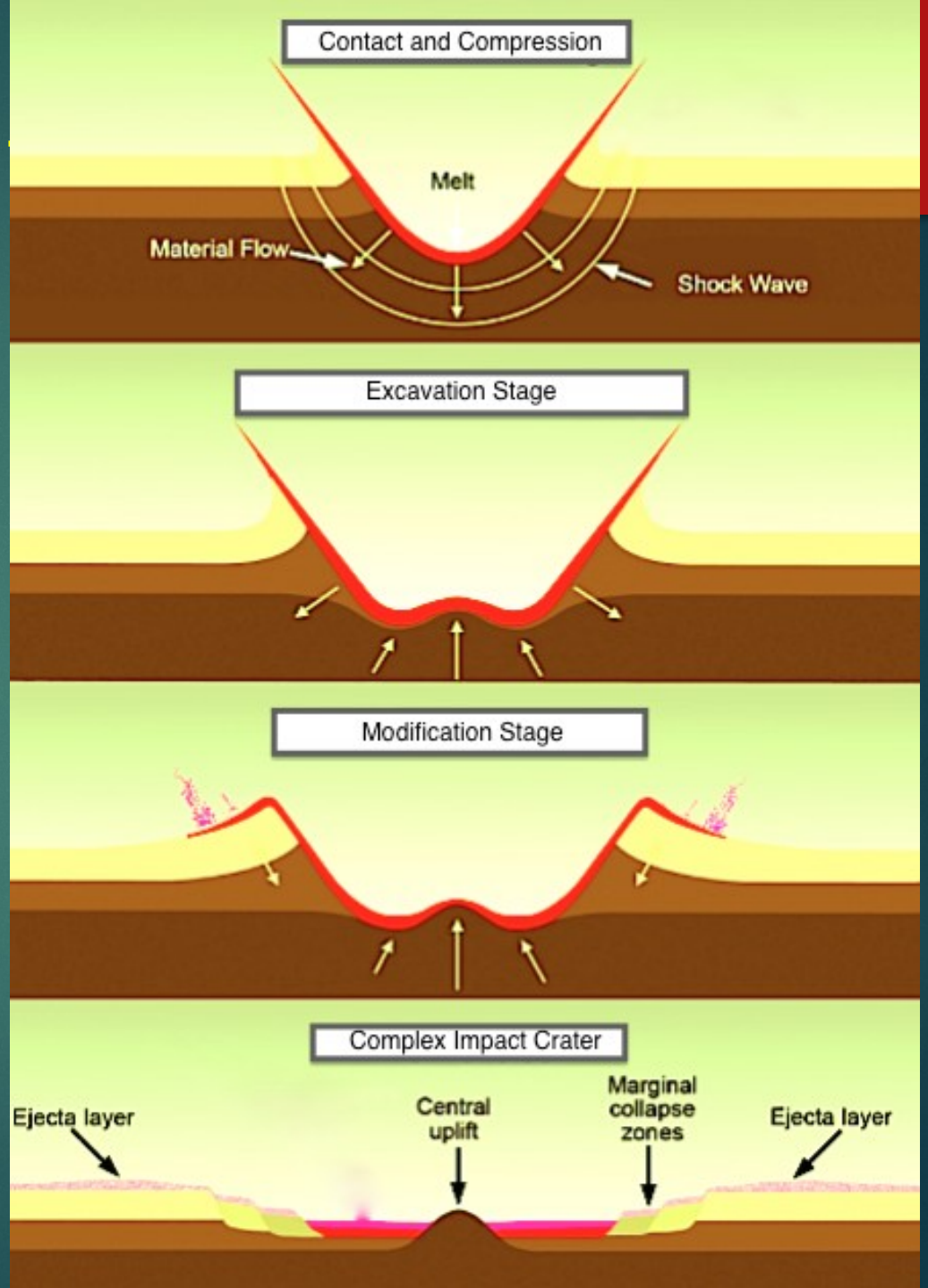


- Il cratere lunare più grande è il bacino Polo Sud-Aitken, che ha un diametro di circa 2 500 km, è profondo 13 km e si trova sulla faccia nascosta

Formazione di un cra impatto

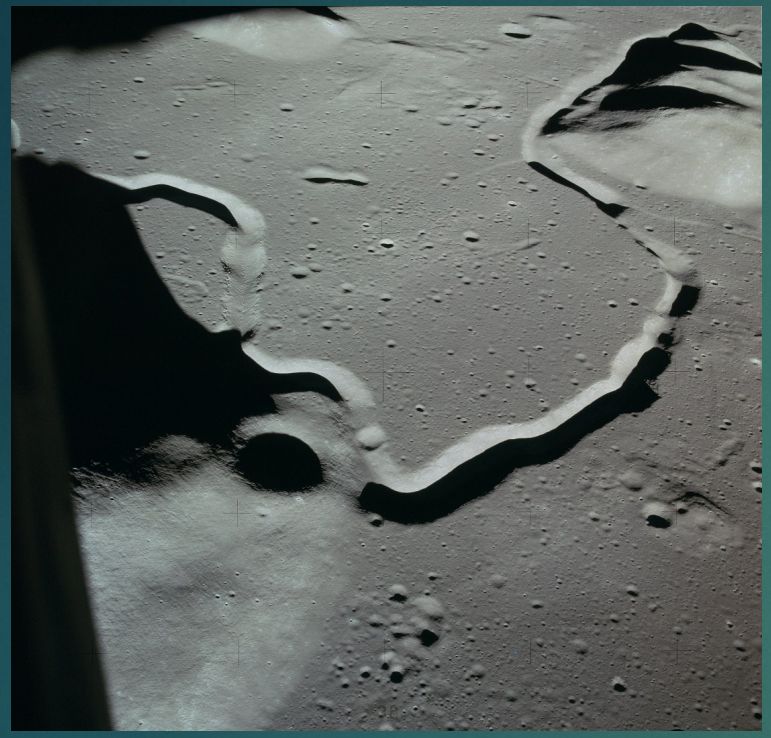
- Cratere semplice: piccole dimensioni, forma a scodella
- Cratere complesso: grandi dimensioni, picco centrale ed eventuali anelli montuosi intermedi
- L'impatto provoca la fusione della meteora e della crosta nel punto di impatto (energia cinetica -> energia termica)

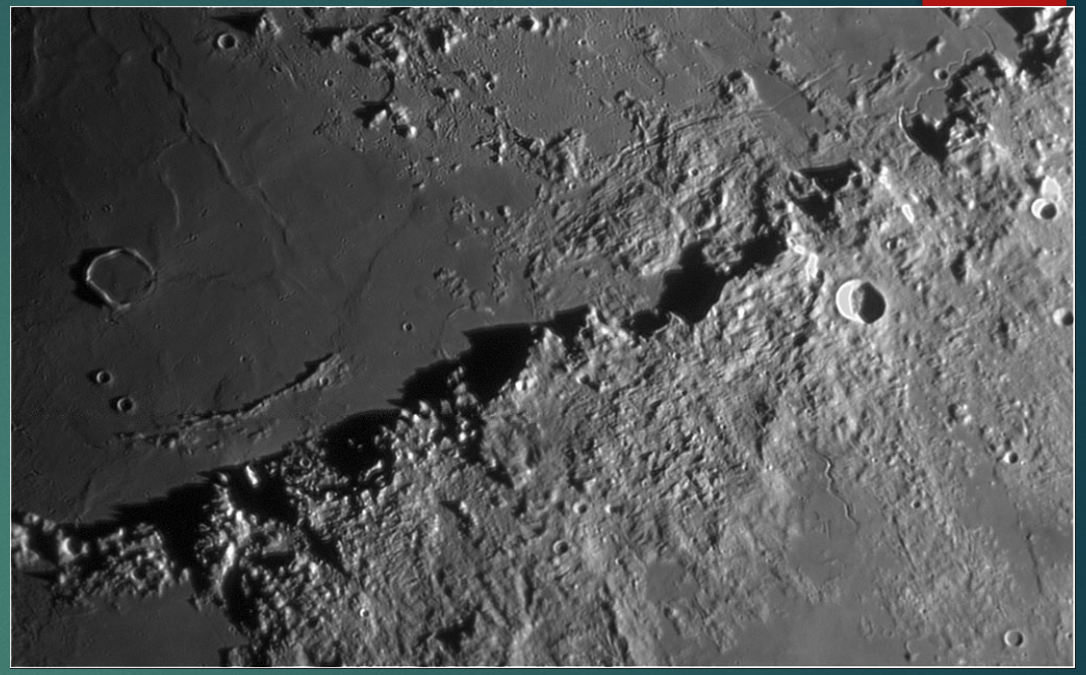
- Più crateri ci sono in una determinata area, più essa è considerata antica



Crediti immagine: Eblamble - Opera propria, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32630271

Depressioni e rilievi

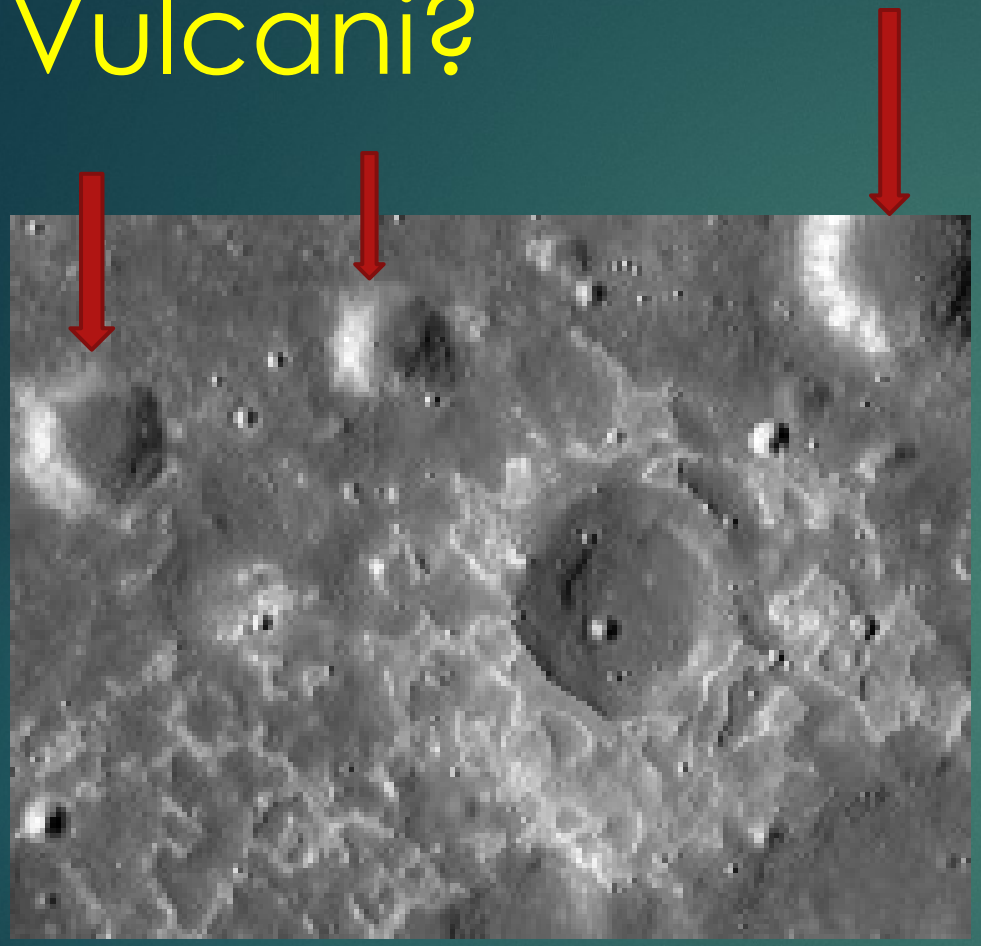




- Depressioni (**Rimae**)
- Possono essere dovute al crollo del tetto di gallerie laviche svuotate

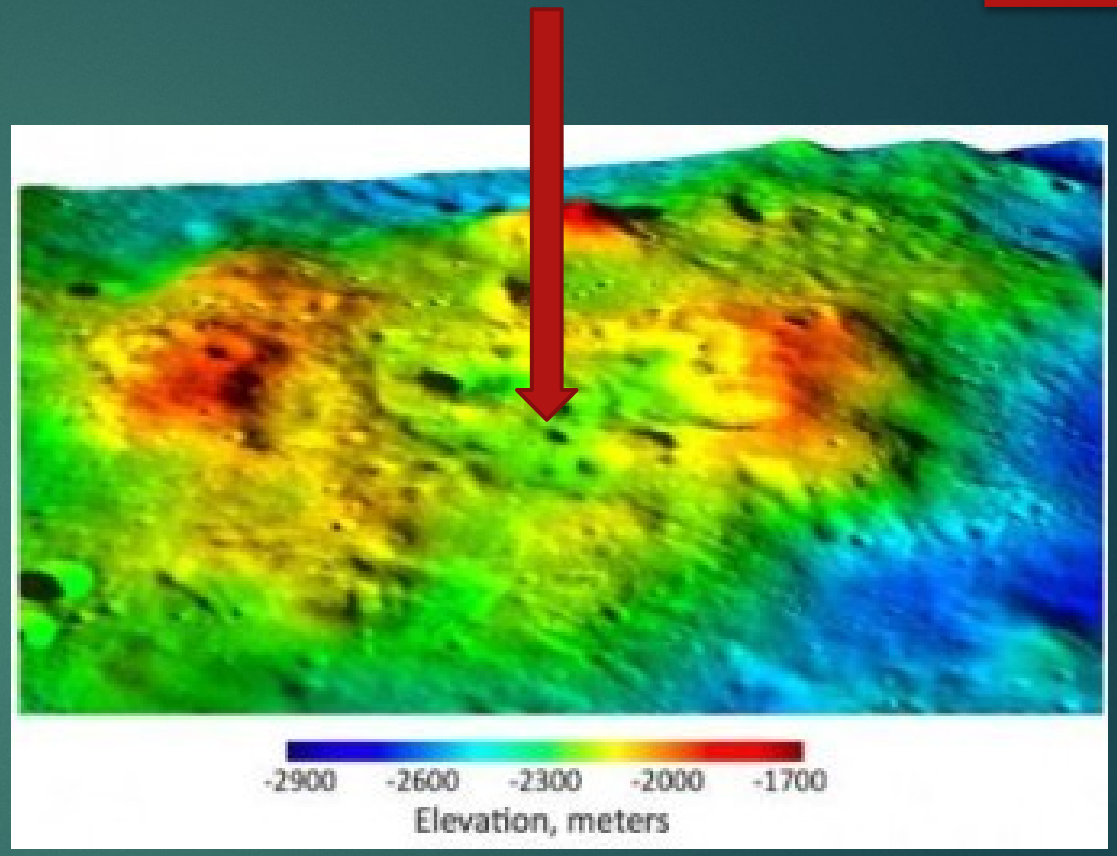
- Rilievi (es. **Montes Appennini**)
- Qui si trova la montagna più alta: il monte Huygens (5500 m)
- Non si formano per motivi tettonici, ma sono i bordi degli enormi bacini che hanno formato i mari

Vulcani?



- Sulla faccia visibile: Duomi lunari

Crediti: NASA/GSFC/Arizona State University/Le Scienze

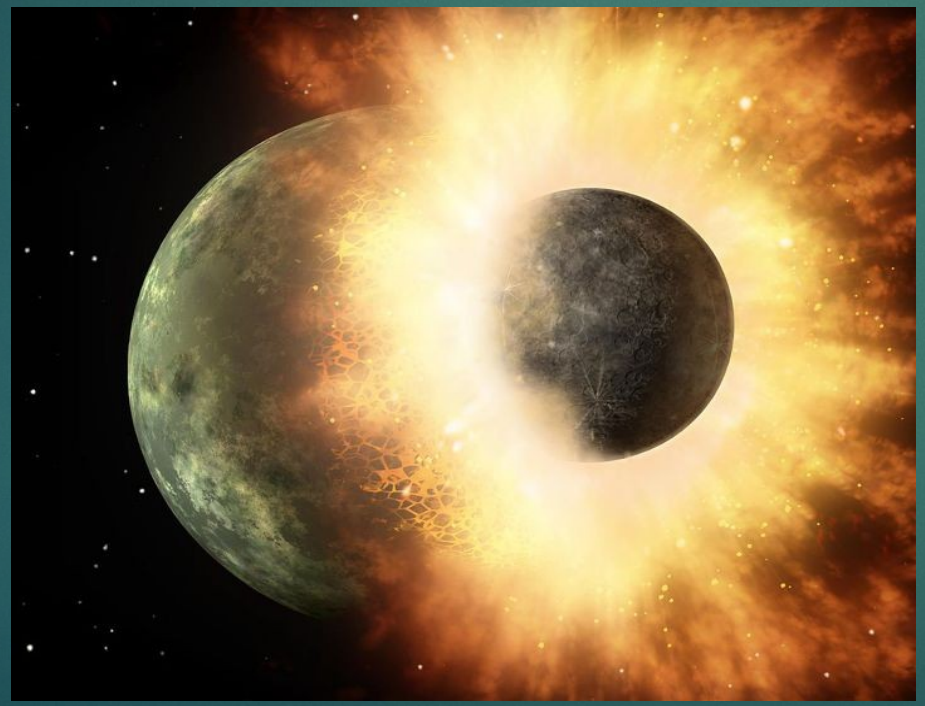


- Sulla faccia nascosta: una caldera?

crediti: F. Scholten, DLR. NASA/GSFC/ASU/WUSTL/INAF

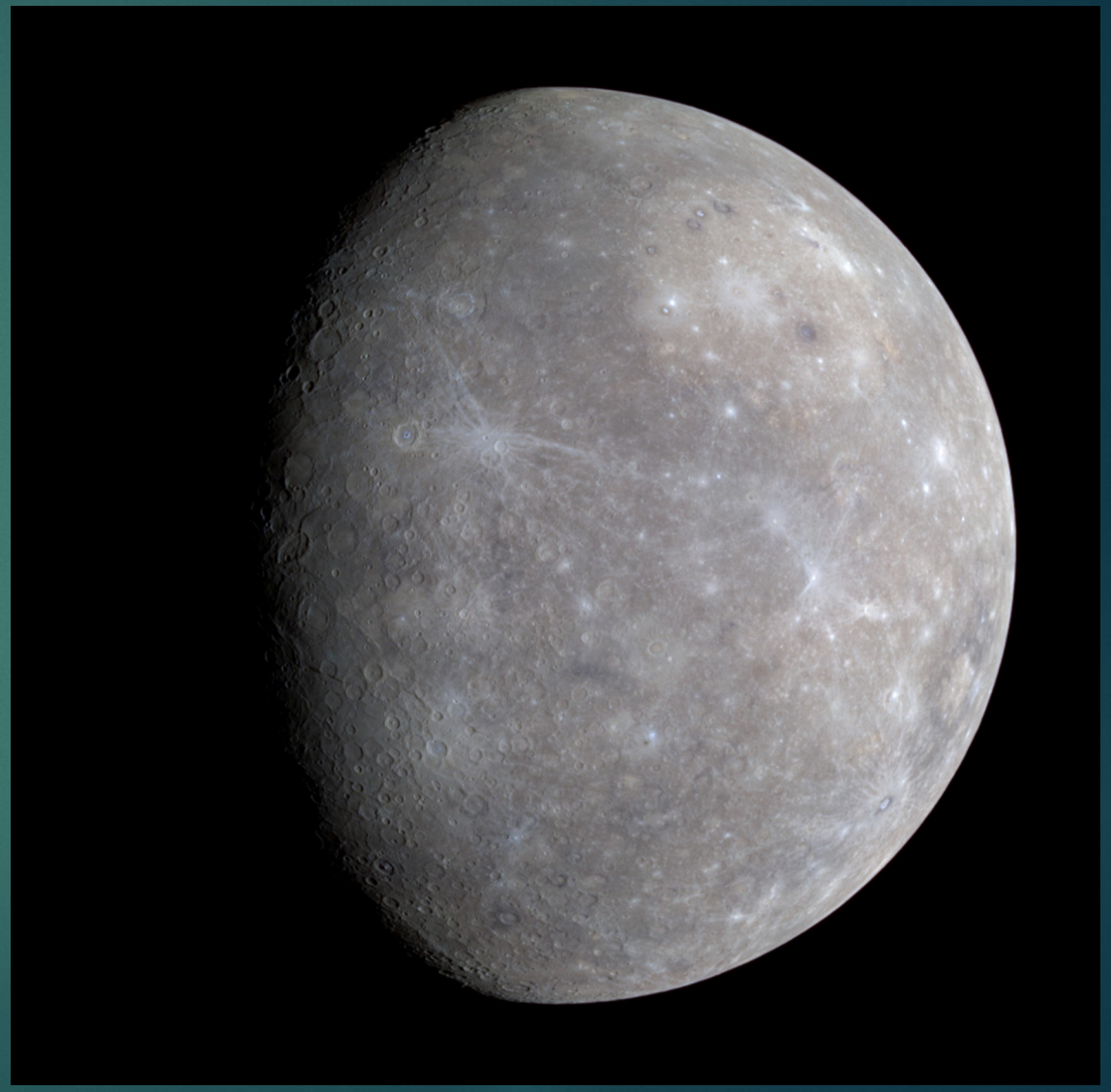
Ipotesi sull'origine della Luna

- Cattura (poco probabile)
- Collisione, poco dopo la formazione, della Terra con il pianeta Theia e origine della Luna dall'aggregazione dei detriti rimasti in orbita



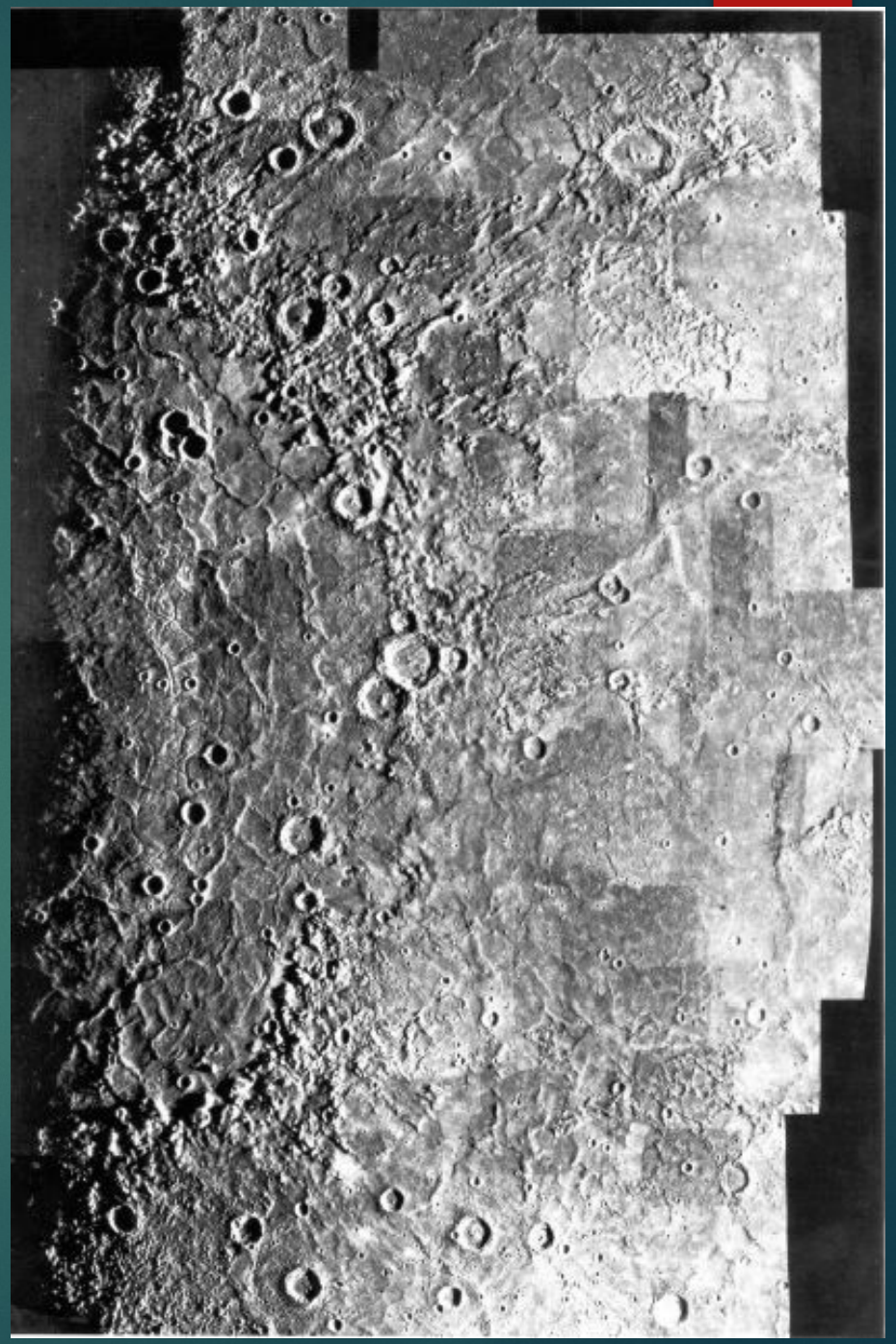
Mercurio

- E' il pianeta più piccolo del sistema solare (diametro di 4879,4 km)
- Densità media più alta dopo la Terra: 5,43 g/cm³
- E' formato per il 70% da elementi metallici
- Perciò si pensa che abbia un grosso nucleo ricco in Fe, che occupi circa il 42% del suo volume (Terra 17%)
- Campo magnetico di intensità pari a circa l'1% del campo terrestre
- Atmosfera molto tenue
- Temperature superficiali da 430 a -190°C



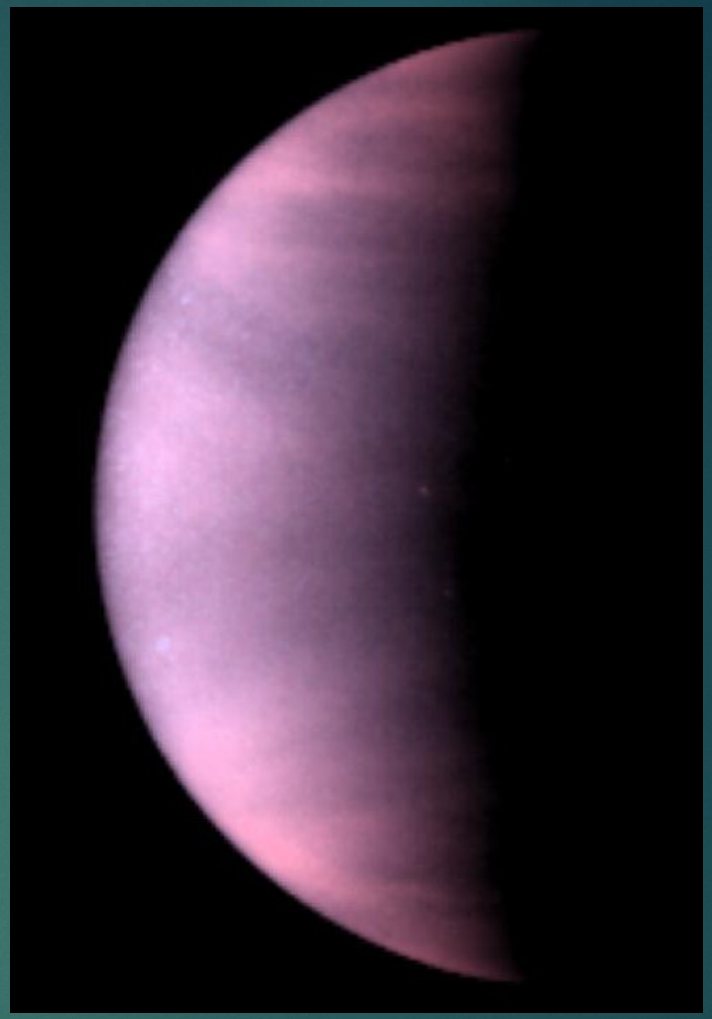
Superficie di Mercurio

- Molto craterizzata
- Grandi bacini superiori ai 200 km, come la Caloris Planitia
- Assenza di placche tettoniche
- Rupes di notevoli dimensioni, fino a 1000 km di lunghezza e tre di profondità



Venere

- Dimensioni simili alla Terra
- L'atmosfera è costituita al 96,5% da anidride carbonica e per il 3,5% di azoto, con una pressione al livello del suolo pari a circa 92 atm
- Nubi con acido solforico riflettono la gran parte della luce solare e nascondono la vista della superficie
- Elevatissimo effetto serra



- Venere fotografato dal telescopio spaziale Hubble
- Crediti: L. Esposito (University of Colorado, Boulder), and NASA - http://hubblesite.org/gallery/album/solar_system/pr1995016g/web_print/, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11350265

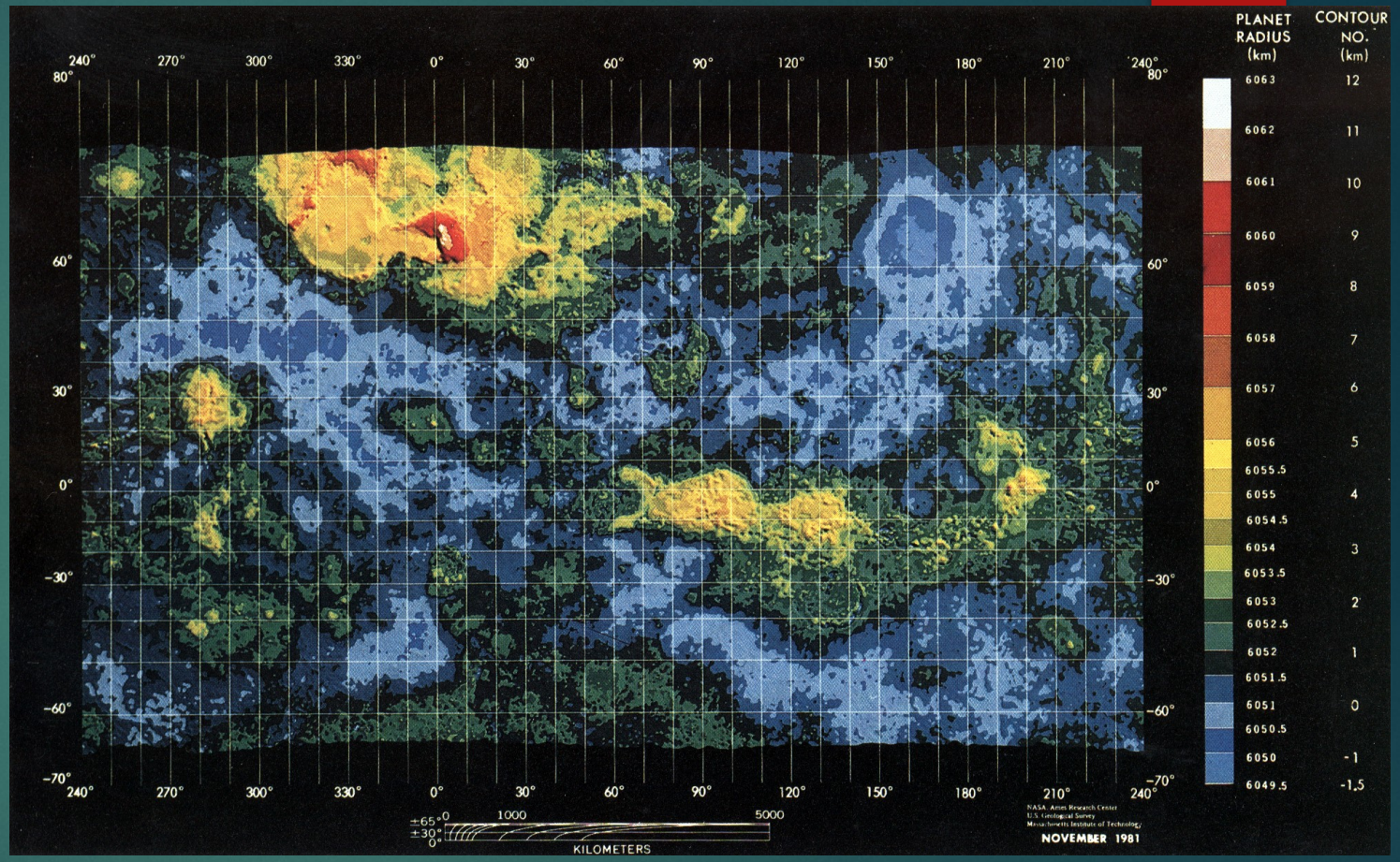
Superficie di Venere

- Il 20 ottobre 1975 il lander della sonda sovietica Venera 9 si separò dall'orbiter e toccò il suolo del pianeta il 22 ottobre. Al suolo, la sonda resistette 53 minuti.
- Il lander di Venera 10 atterrò il 25 ottobre, resistendovi per 65 minuti.
- 1978-1983: anche le sonde Venera 11-14 atterrarono, mentre Venera 15 e 16 entrarono in orbita
- 1984: Vega 1 e 2 programmate per sorvolo di Venere, rilascio di lander ed esplorazione della cometa di Halley

Immagine del punto di atterraggio di Venera 9: temp. 485 °C, pressione al suolo di circa 9 Kpa = 90 atm. Atmosfera con acido cloridrico, acido fluoridrico, bromo e iodio, Rocce: basalto?

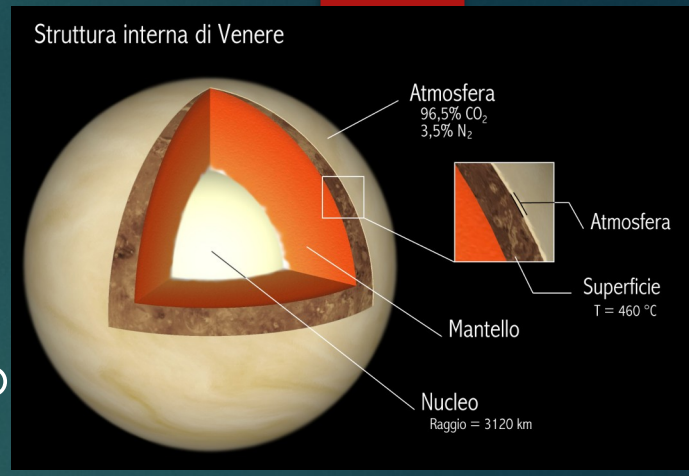
Superficie di Venere

- Estese pianure, povere di crateri e ricche di corrugamenti
- 2 «continenti», uno dei quali è grande come l'Australia ed è chiamato Terra di Ishtar, quello meridionale è invece chiamato Aphrodite Terra e ha circa le dimensioni dell'America meridionale. La maggior parte di questo continente è ricoperta da un intrico di fratture e di faglie
- Massiccio dei Monti Maxwell su Ishtar
- Molti vulcani, che in passato possono aver rimodellato circa il 60% della superficie
- Non c'è evidenza di tettonica a placche (almeno recente)



- Mappa topografica di Venere ricostruita grazie al progetto Pioneer Venus (1981)
- Crediti: Di NASA Ames Reseach Center, U.S Geological Survey and Messachusetts Institute of Technology Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11460252

Una geologia simile, o diversa?



Le osservazioni ed i modelli teorici forniscono questo quadro geologico

- La crosta di Venere è basaltica, secca, forse di 30 km di spessore.
- Il mantello ha moti convettivi che danno luogo a pennacchi vulcanici. Ha composizione e temperatura simili a quelle terrestri, ma una maggiore viscosità, che forse è causa dell'attuale mancanza di una tettonica a placche. L'alta viscosità può essere causata dall'assenza di acqua.
- Le colate vulcaniche sono simili a quelle terrestri, ma sono condizionate dalla maggiore viscosità.
- Pochi crateri da impatto, che sono di grandi dimensioni -> crosta giovane e atmosfera densa, che brucia i meteoriti più piccoli.

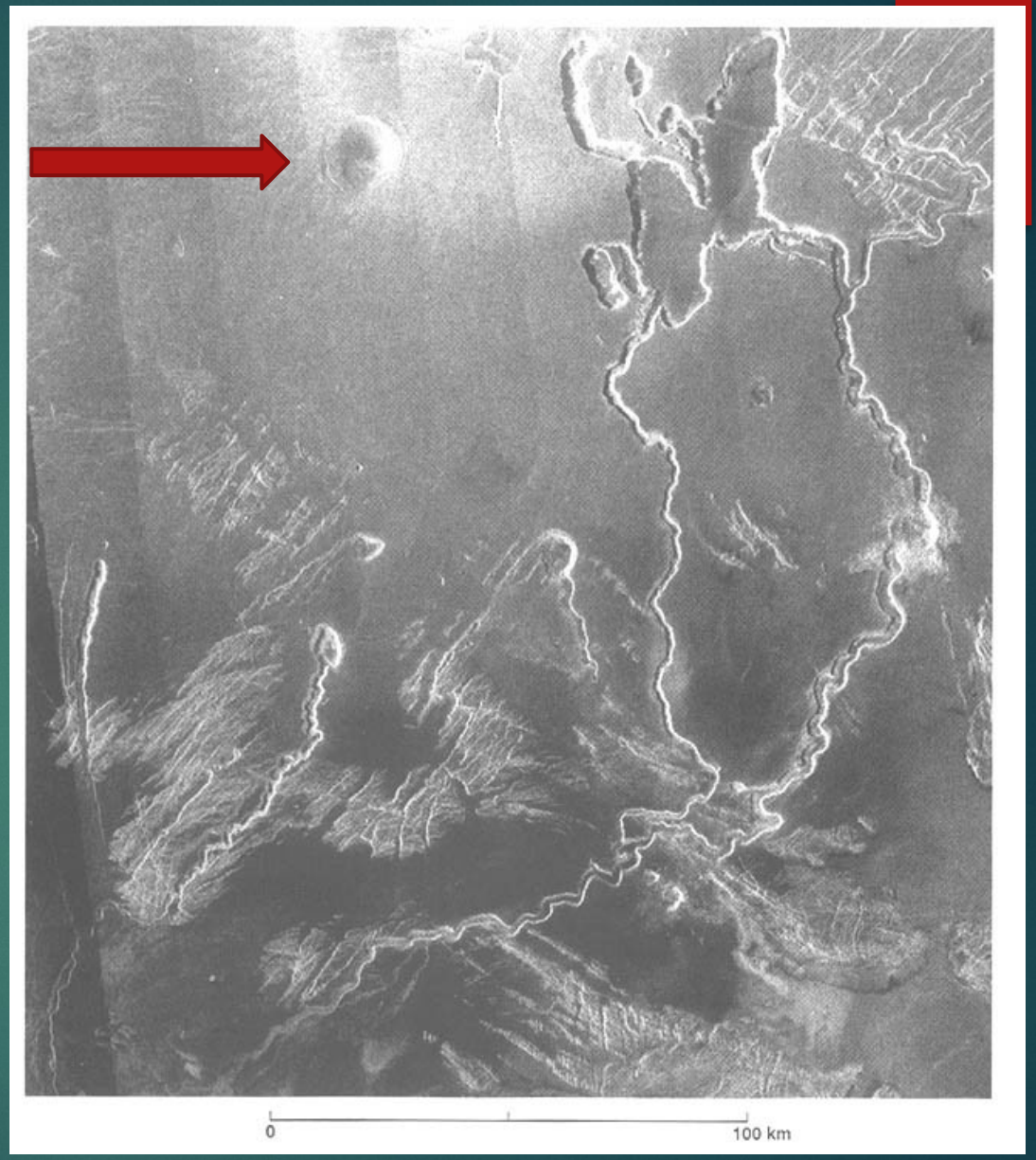
Vulcani su Venere

Sono stati individuati circa 1500 vulcani di dimensioni medio-grandi e moltissimi altri più piccoli

Strutture vulcaniche peculiari di Venere:

- Farra (a forma di focaccina) larghe da 20 a 50 km e alte da 100 a 1000 m,
- Novae: fratture radiali a forma di stella
- Aracnoidi : strutture con fratture sia radiali che concentriche così chiamate per la loro somiglianza con le tele di ragno
- Vulcani piatti, forse eruzioni di lava particolarmente densa, e le corone, anelli circolari di fratture a volte circondati da una depressione, forse cupole tettoniche collassate su vaste camere magmatiche.
- Zolfo nell'atmosfera: proviene da vulcani ancora attivi o da reazioni chimiche nell'atmosfera?

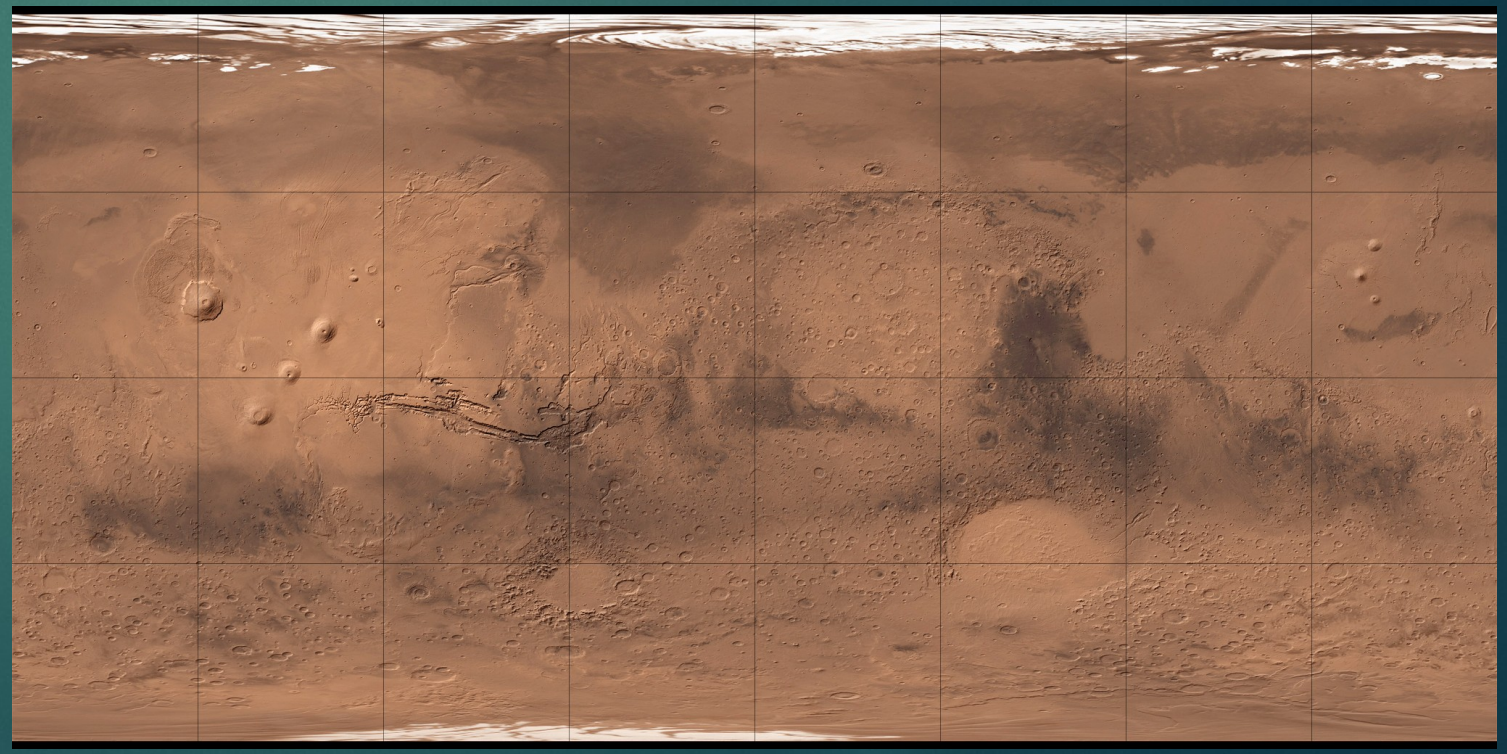
Crediti: Vikipedia



- Di NASA - http://history.nasa.gov/JPL-93-24/p121.htmhttp://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/mgn_c115s095_1.html, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=214500

Marte

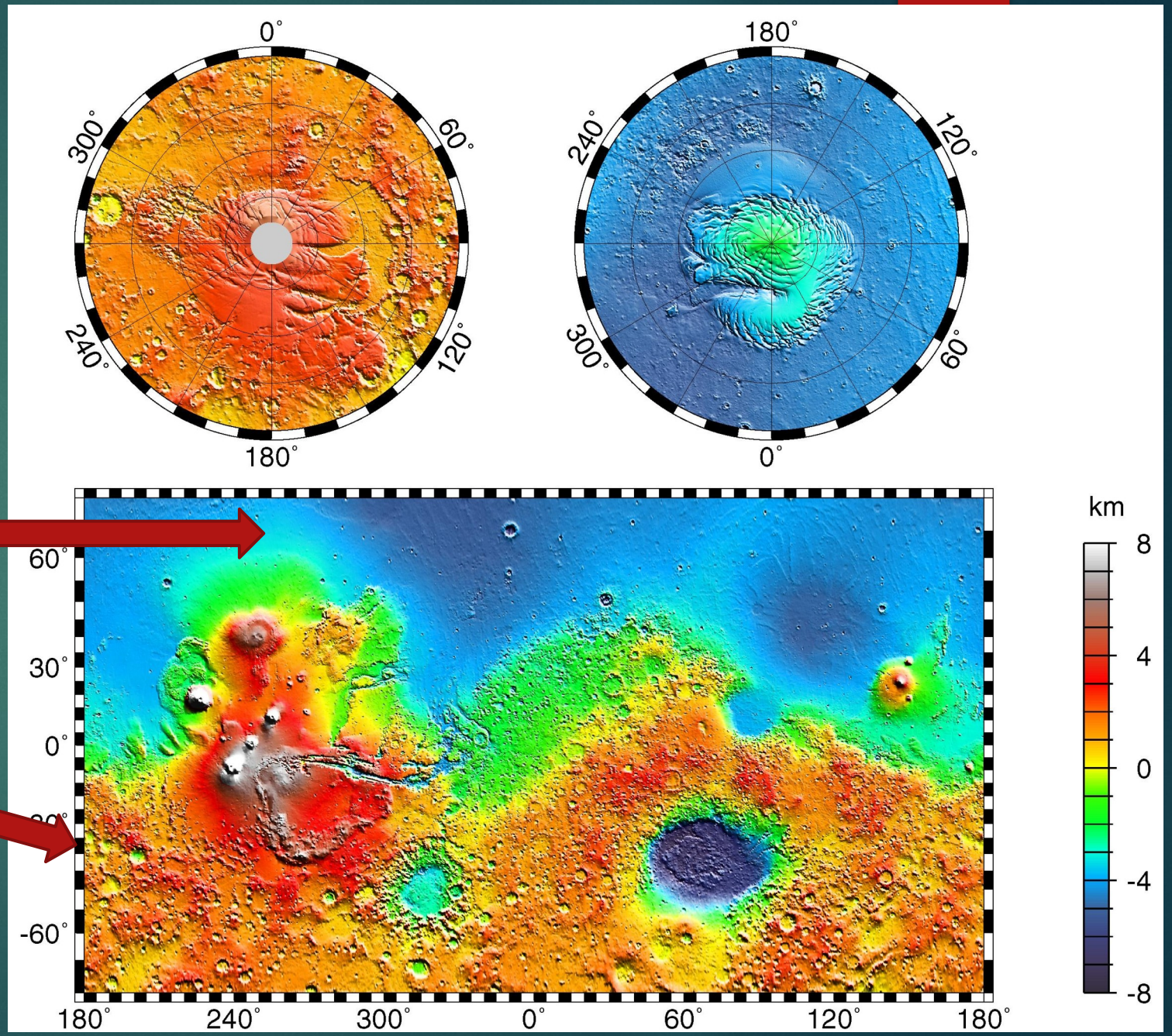
- Atmosfera tenue, composta in prevalenza da anidride carbonica, azoto e tracce di vapore acqueo, con pressione pari a meno di 1/100 di quella terrestre
- 15% del volume della Terra e 10,7% della sua massa, quindi è meno denso (D=3,94 g/cm^3)
- Temperatura media -50°C
- 2 satelliti



Superficie di Marte

Differenze tra:

- Emisfero nord: pochi crateri, prevalenza di terreni pianeggianti e bassi (planitiae) – 1/3 della superficie – spessore crosta max 32 km
- Emisfero sud: molti crateri -> terre antiche – 2/3 della superficie – estesi altipiani - spessore crosta 58 km



Crediti: NASA/JPL-Caltech/GSFC

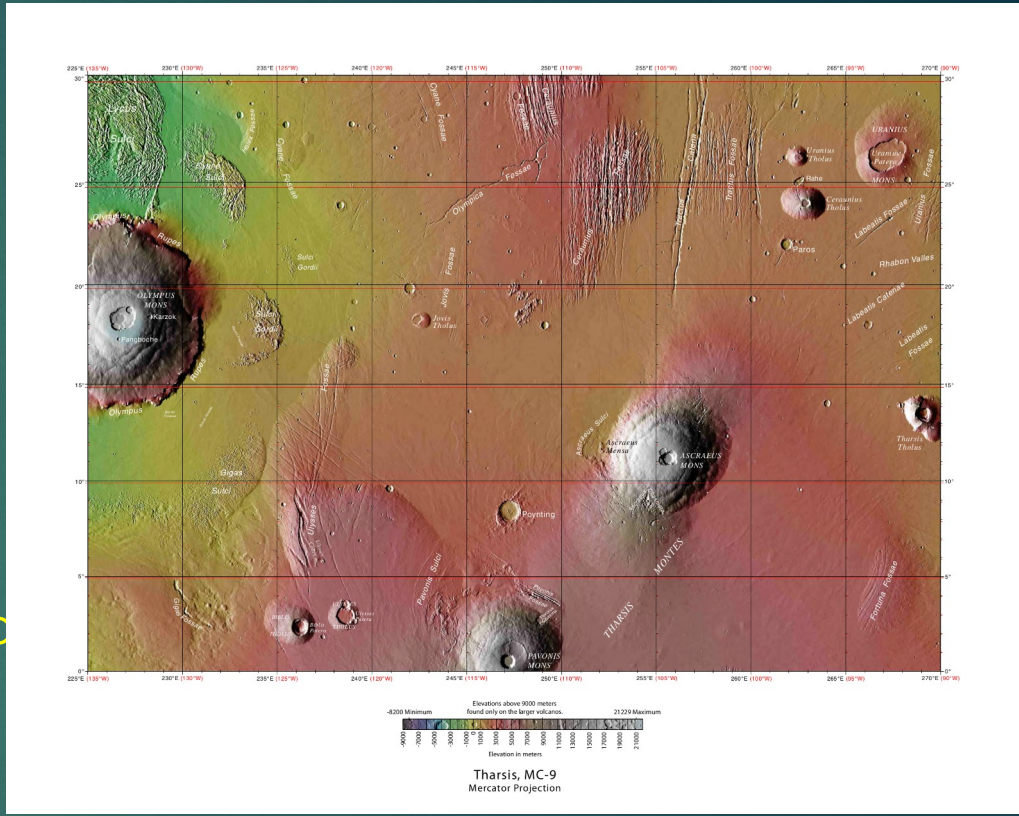
I minerali su Marte

- NB: i rilevamenti geologici sono in gran parte basati su dati spettroscopici, in pratica sui «colori» mostrati dai vari minerali, integrati da rilevazioni in situ effettuate /delle varie sonde atterrate.
- Ossidi di Ferro: Ematite rossa, ematite grigia
- Il Fe su Marte è rimasto in superficie per il rapido raffreddamento conseguente alle sue piccole dimensioni. L'ematite grigia richiede la presenza di acqua per formarsi
- Silicati
- Solfati, cloruri, carbonati e nitrati
- Minerali argillosi nei sedimenti (acqua?)
- Minerali magnetici -> c'era campo magnetico?

Vulcani

- Presenti soprattutto nelle regioni di Tharsis e di Elysium planitia
- Mons: vulcani a scudo (es. mons Olympus)
- Tholus: cono a maggiore pendenza, come negli stratovulcani terrestri
- Patera: vulcani a scodella, cono basso, con scarsa pendenza e fratture radiali

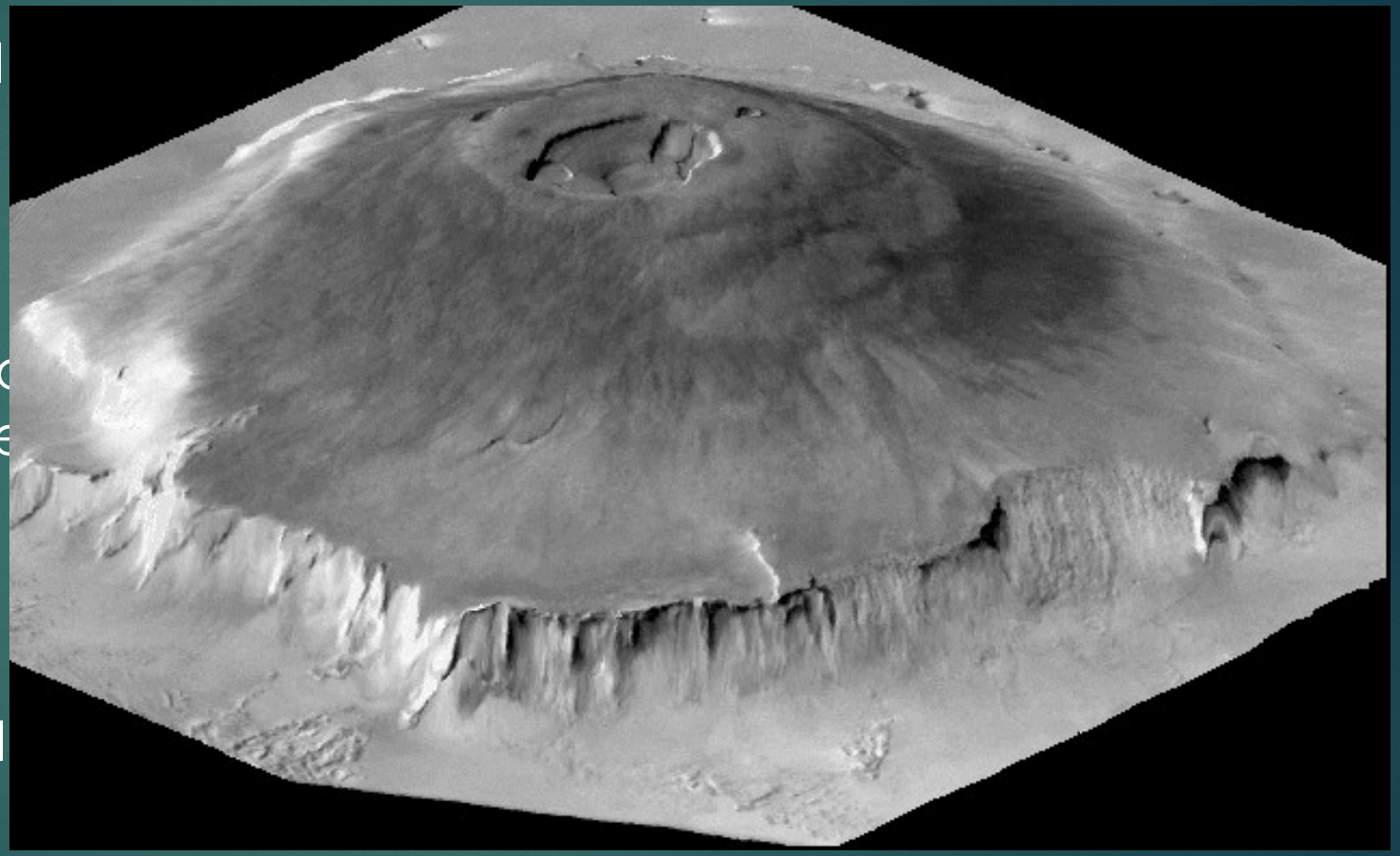
- Sono così alti perché dovuti solo a vulcanismo di punto caldo, perché hanno bucato la crosta sempre nello stesso punto per l'assenza di tettonica a placche ed hanno avuto tempo per crescere, favoriti anche dalla bassa gravità



- Crediti: Di USGS (United States Geological Survey) - http://planetarynames.wr.usgs.gov/images/mc9_mola.pdf, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26123355

Olympus mons

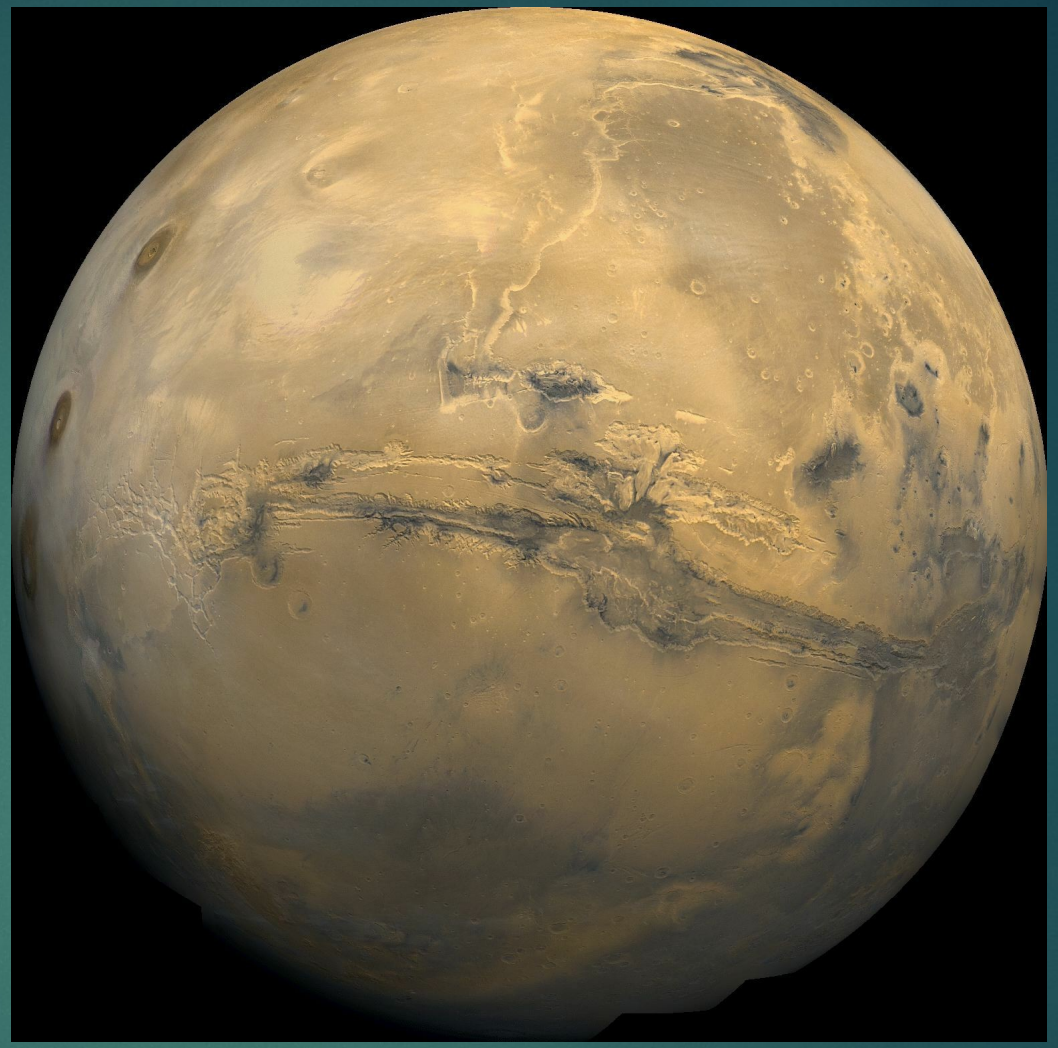
- E' il vulcano più grande del sistema solare
- Fa parte della regione vulcanica di Tharsis
- Alto 27 km dalla base, 25 da livello medio della superficie marziana
- Diametro di 610 km
- Vulcano a scudo con caldera sommitale profond 3 km



- Di ESA/DLR/FUBerlin/AndreaLuck - Olympus Mons - ESA Mars Express, CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=130092547

Valle marineris

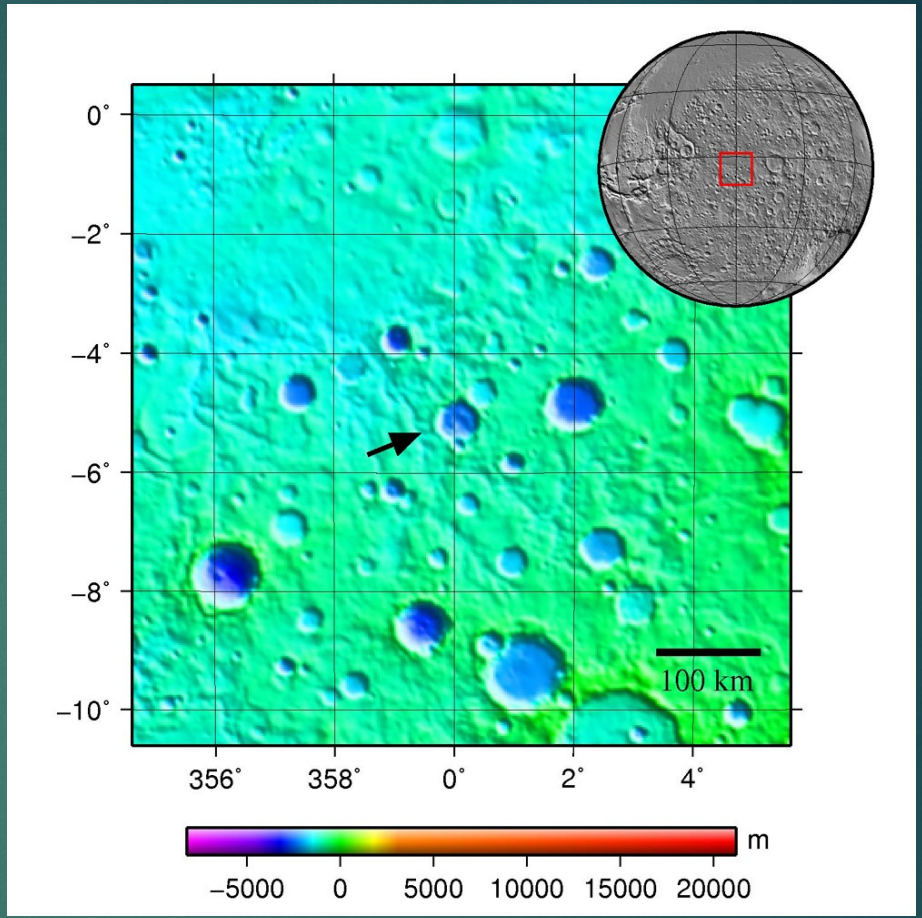
- Sistema di canyons lungo 4500 km per 200 di larghezza e profondità massima di 7/8 km (10 volte la lunghezza del Gran canyon del Colorado).
- Si pensa sia stata originata da fenomeni tettonici a seguito dell'attività vulcanica della regione di Tharsis (a sinistra)



- Crediti: NASA / USGS, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19400

Crateri da impatto

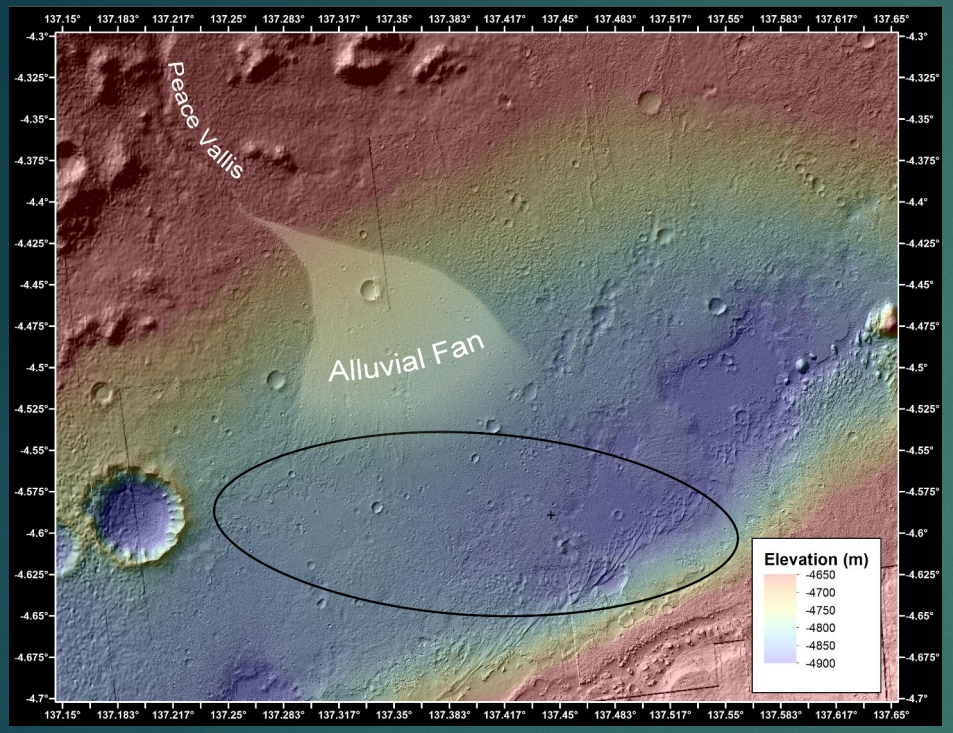
- Hanno una morfologia molto varia, che dipende dall'angolo di impatto, da fenomeni di colate di fango, dall'erosione
- Tra i più grandi Hellas planitia, grande depressione dell'emisfero sud, la più profonda del pianeta, fino a 8 km, causata dall'impatto di un asteroide circa 3900 milioni di anni fa

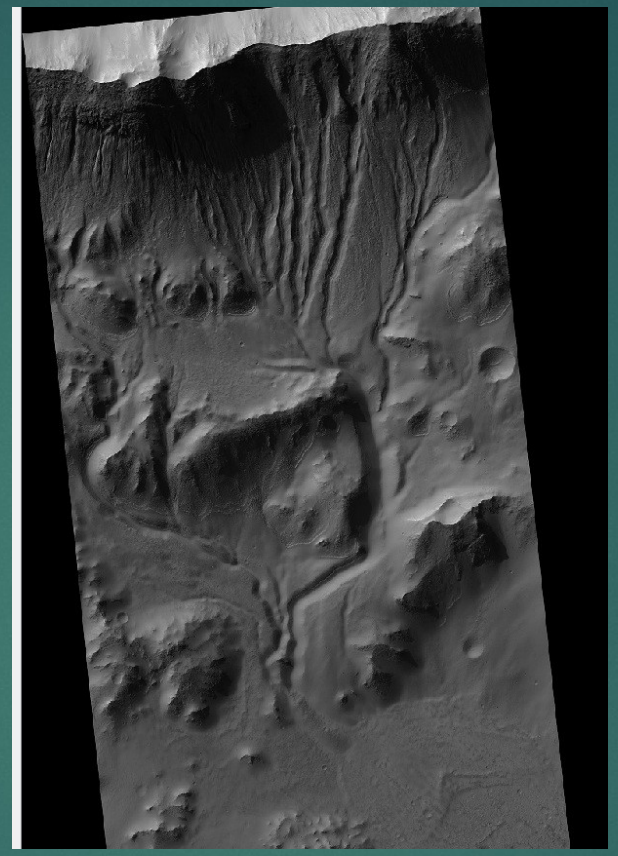


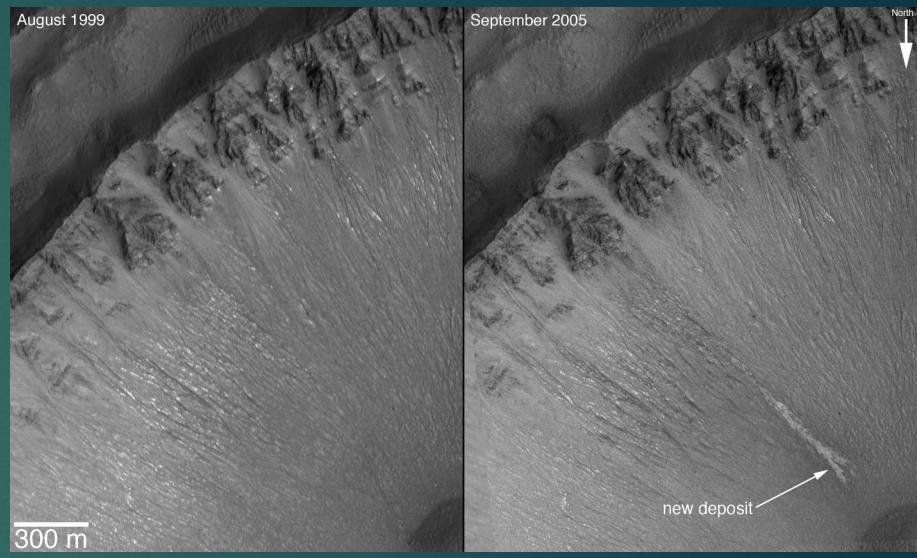
- Cratere Airy, dal quale passa il meridian 0 di Marte

- Di Martin Pauer (Power) - plotted using GMT and gridded MOLA data archive meg0031t.grd, CC BY 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2683386

Antichi fiumi?







- Ventaglio di detriti alluvionali nel cratere Gale, esplorato dal rover Curiosity
- crediti: NASA/JPL-Caltech/

- Gullies, solchi fluviali e nuovi sedimenti trasportati dall'acqua?

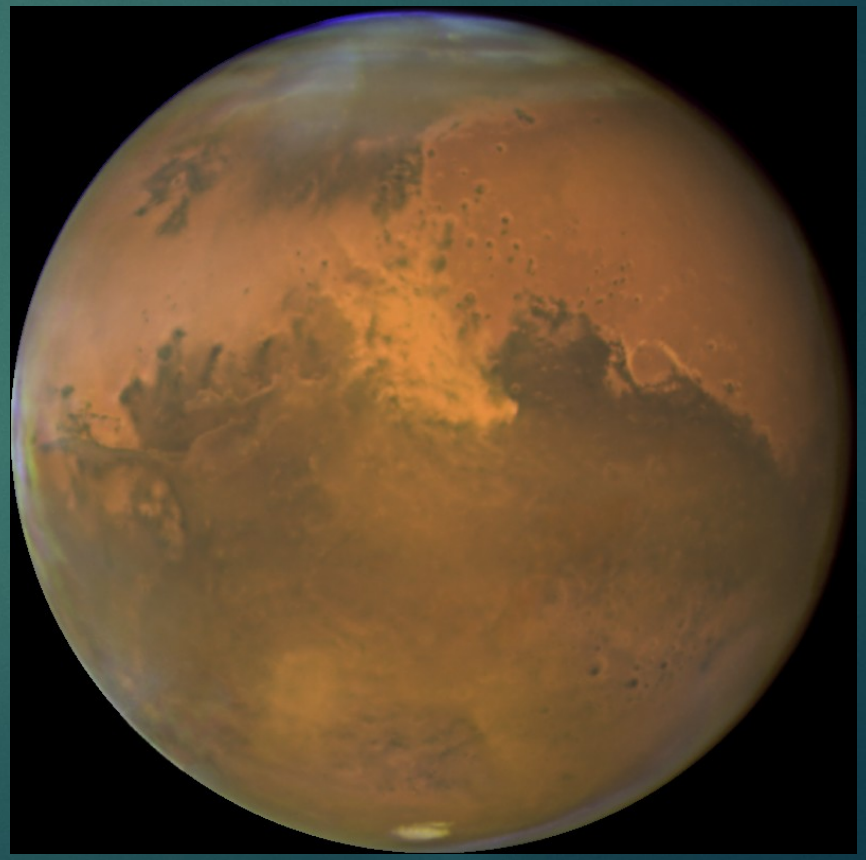
Calotte polari

- Sono formate a ghiaccio secco (CO_2) che ricopre ghiaccio d'acqua
- Presentano variazioni stagionali: in estate la CO_2 sublima e va in atmosfera, d'inverno si condensa come brina

- Di Rochus Hess - Homepage of Rochus Hesshttp://members.aon.at/astrofotografie/galerie/sonnensystem/he_mars.htm, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=136684

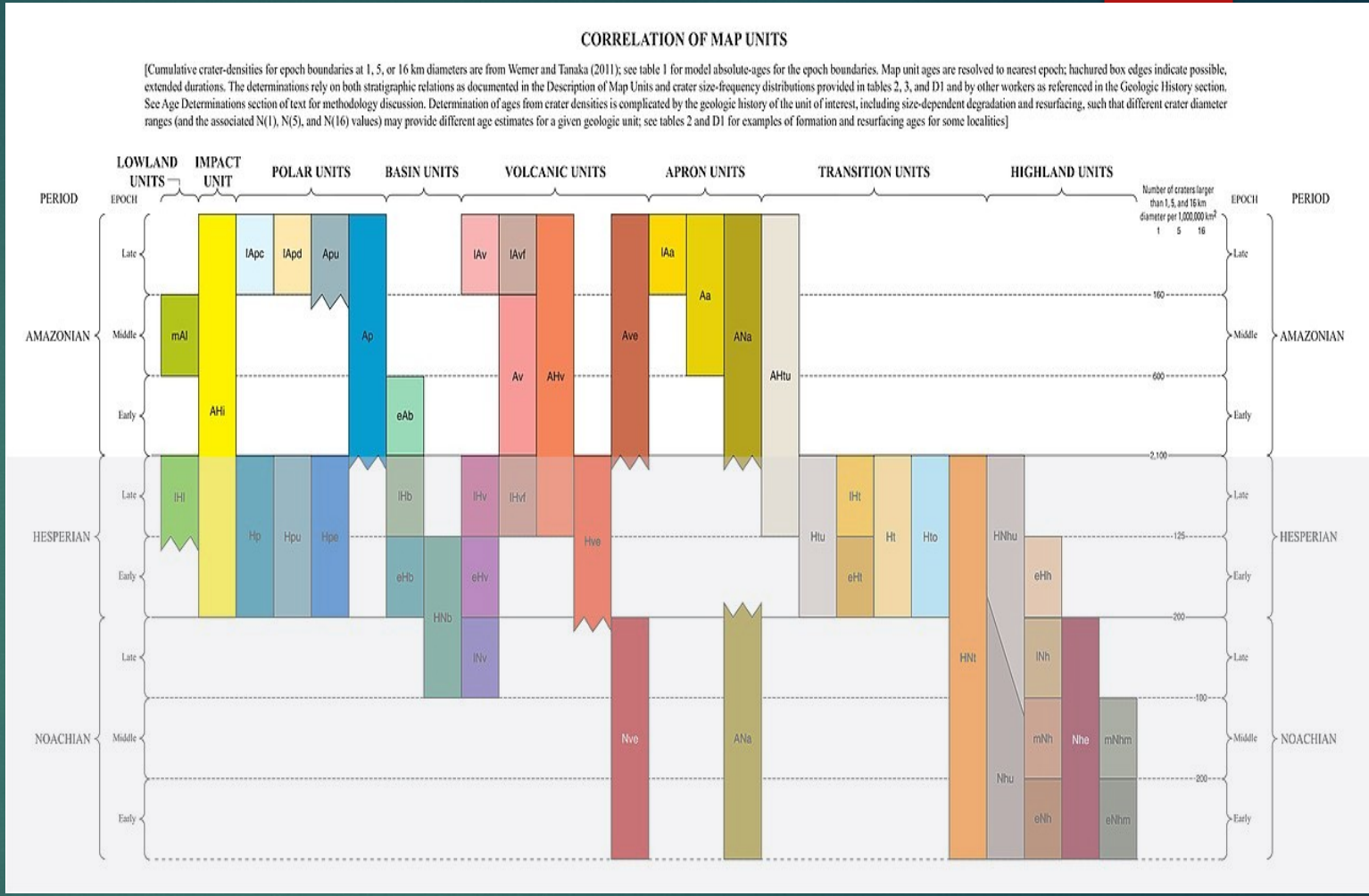
Dune e tempeste di sabbia

- I venti spazzano la sabbia e formano dune, ad es. in alcuni crateri
- Le tempeste di sabbia sono dovute alla differenza di temperatura tra equatore e polo sud, che generano venti fino a 100 km/h. Le tempeste possono ricoprire tutto il pianeta, soprattutto nel corso dell'estate australe, quando i l pianeta è più vicino al Sole



Ere marziane

- Pre-noachiano - 4500-4100 Ma – formazione della crosta, presenza di acqua, atmosfera densa
- Noachiano – 4100-3600 Ma – Grande bombardamento meteoritico tardivo, abbondanza di acqua, atmosfera meno densa, fine del campo magnetico
- Esperiano – 3600-2800 Ma – Intensa attività vulcanica, formazione di solfati, perdita di acqua e di atmosfera, forse oceano in superficie
- Amazzoniano – 2800 Ma-presente – ambiente secco e freddo, pressione atmosferica bassa, acqua evaporata o ghiacciata, ossido di ferro in superficie, l'attività vulcanica diminuisce fino a cessare circa 1750 Ma fa



- Di Tanaka, K.L., Skinner, J.A., Jr., Dohm, J.M., Irwin, R.P., III, Kolb, E.J., Fortezzo, C.M., Platz, T., Michael, G.G., and Hare, T.M., - https://pubs.usgs.gov/sim/3292/, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=111821543

Phobos

Nome: da Paura, figlio di Ares

Semiasse maggiore dell'orbita 9 375 km

Diametro medio 22,2 km

Superficie scura, craterizzata, con striature, coperta di regolite

Cratere Stickney di 8 km di diametro. Le striature sono formate da piccoli crateri.

Deimos

- Nome: Terrore, figlio di Ares
- Diametro medio 12,4 km
- Superficie rossastra con zone più chiare, craterizzata ma comunque liscia a causa dello spesso strato di regolite. Crateri di 1-2 km di diametro

Meteoriti

- Corpi attratti dal campo gravitazionale del pianeta che entrano nell'atmosfera a velocità elevatissime (meteoroidi) e nel caso della Terra, diventano incandescenti per attrito con l'atmosfera, formando all'esterno una crosta di fusione. La differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno può causare l'esplosione della meteora e la sua frammentazione. Al suolo diventano meteoriti. Le dimensioni- variano tra qualche metro e il micron.
- Tradizionalmente si possono classificare (Gottardi, 1984) in:
- Aeroliti, costituite da silicati, suddivise in condriti e acondriti. Le condriti presentano all'interno condrule di olivina e sono considerate meteoriti primitive.
- Sideroliti, formate da parti all'incirca uguali di lega ferronickel e silicati (es. Pallasiti, con olivina).
- Sideriti o ferro meteorico, costituiti in prevalenza da lega ferronickel, considerate provenienti dal nucleo di protopianeti differenziati e poi frammentati.
- Provengono soprattutto da asteroidi, in piccola parte dalla Luna, da Marte o dalle comete

- Crediti immagine: H. Raab (User:Vesta) - Opera propria, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=226915

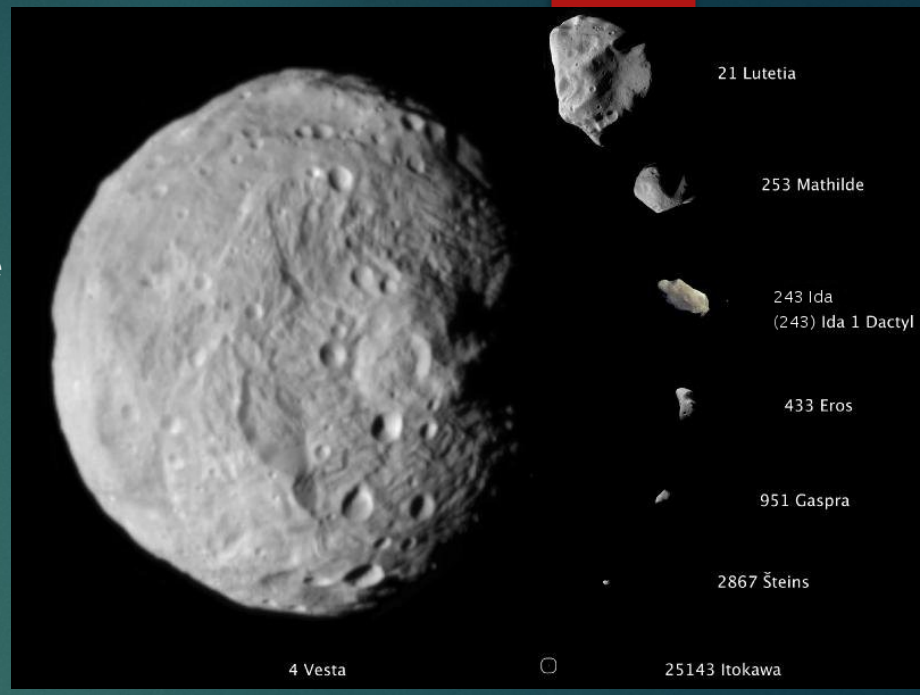
Condrite

Pallasite

Crediti:

- Di H. Raab (User:Vesta) - Opera propria, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=226918
- Di Oliver Schwarzbach (Meteoritenfreund) - Opera propria, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1445360

Asteroidi

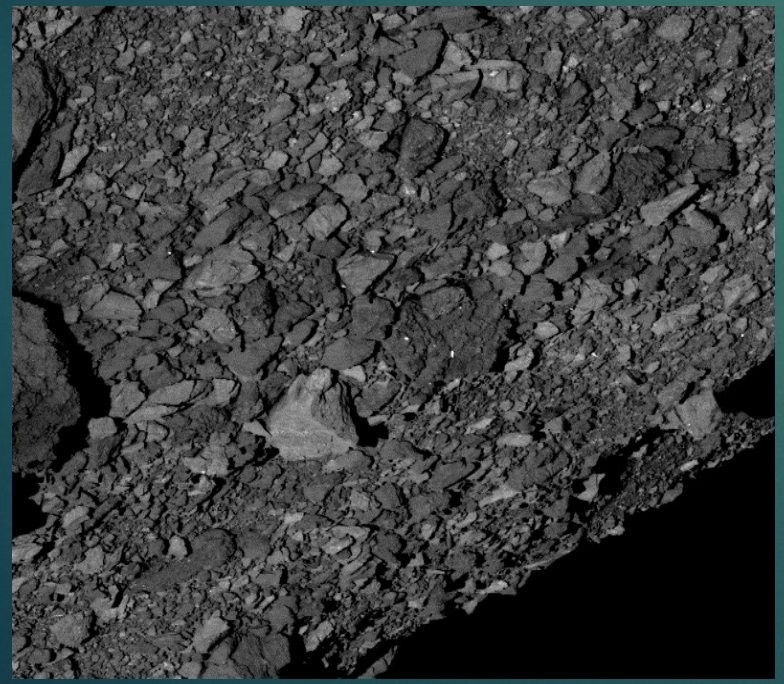


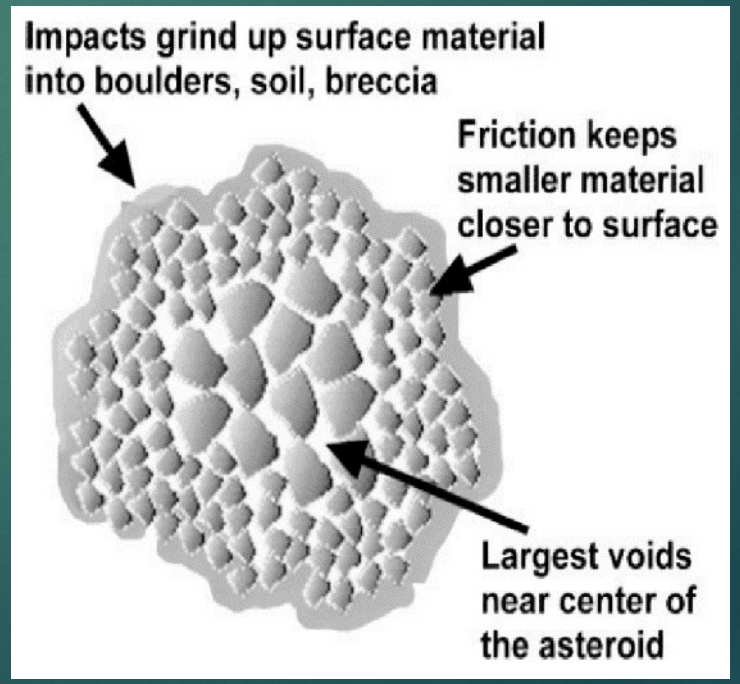
- Piccoli corpi celesti di tipo roccioso, che orbitano in prevalenza tra Marte e Giove (Fascia principale). Sono considerati i residui della formazione del Sistema solare. In base al colore, che dovrebbe indicare la composizione superficiale, si classificano nei seguenti tipi principali o Classi spettrali:
- Asteroidi di tipo C , dove C sta per "carbonacei". Sono estremamente scuri (albedo 0,03), simili alle condriti carbonacee.
- Asteroidi di tipo S, dove S sta per "silicio". Sono oggetti relativamente luminosi (albedo 0,1-0,22). Hanno una composizione metallica (principalmente silicati di nichel, ferro e magnesio). Lo spettro di questi asteroidi ha una forte componente rossa, ed è simile alle meteoriti ferrose. Es. (951) Gaspra
- Asteroidi di tipo M - La M sta per "metallico". Sono asteroidi piuttosto brillanti (albedo 0,1-0,18), sembrano fatti di nichel-ferro quasi puro, forse nuclei di protopianeti che si erano differenziati.
- La parte interna della Fascia è dominata dal Tipo S, quella centrale dai tipi C ed M, all'esterno prevalgono corpi con minerali scuri, materiale organico e ghiaccio

Sulla base della struttura si possono distinguere:

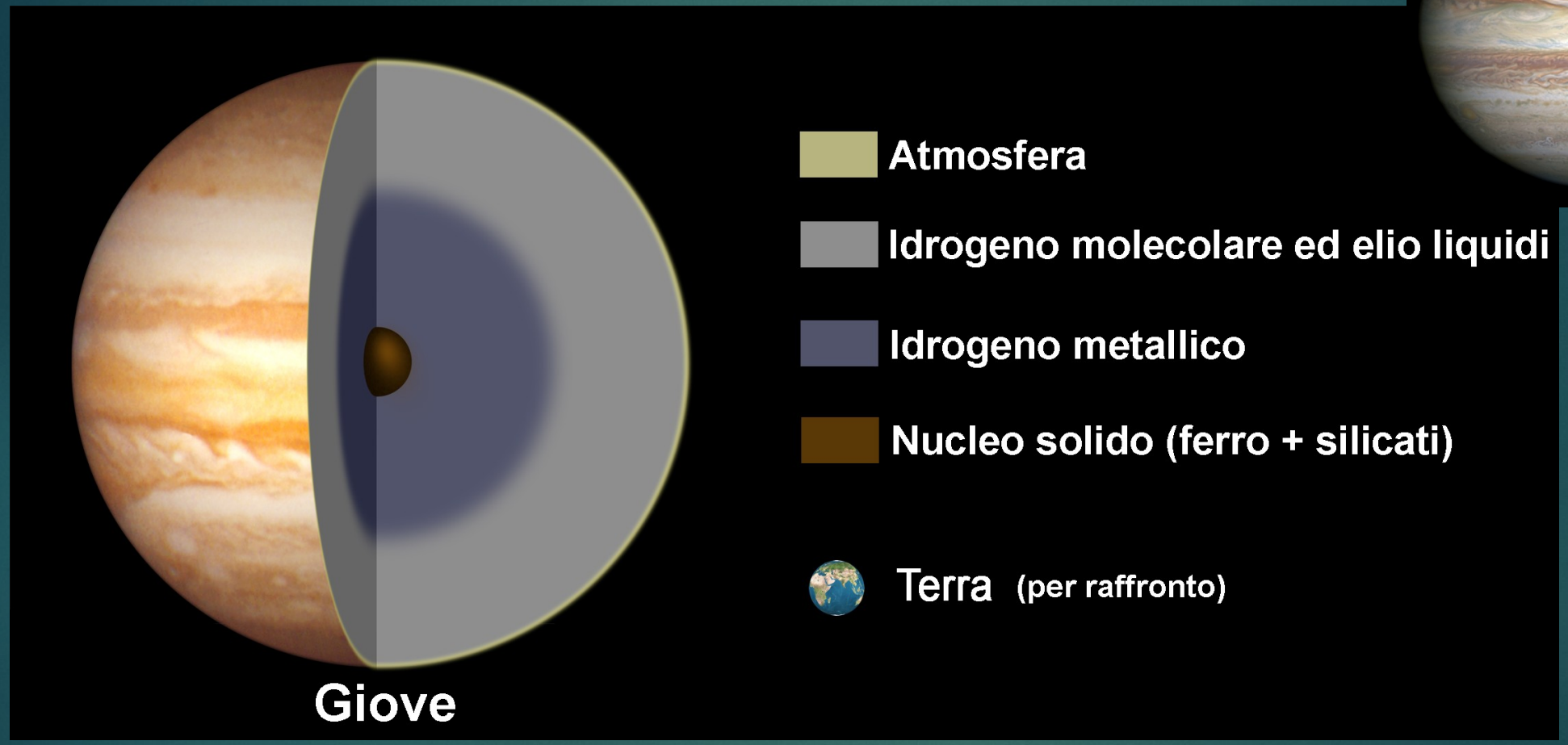
Corpi monolitici

Corpi a «mucchi di macerie» o *rubble pile*, ammassi di pietre tenute assieme dalla reciproca attrazione gravitazionale





Giove e i giganti gassosi

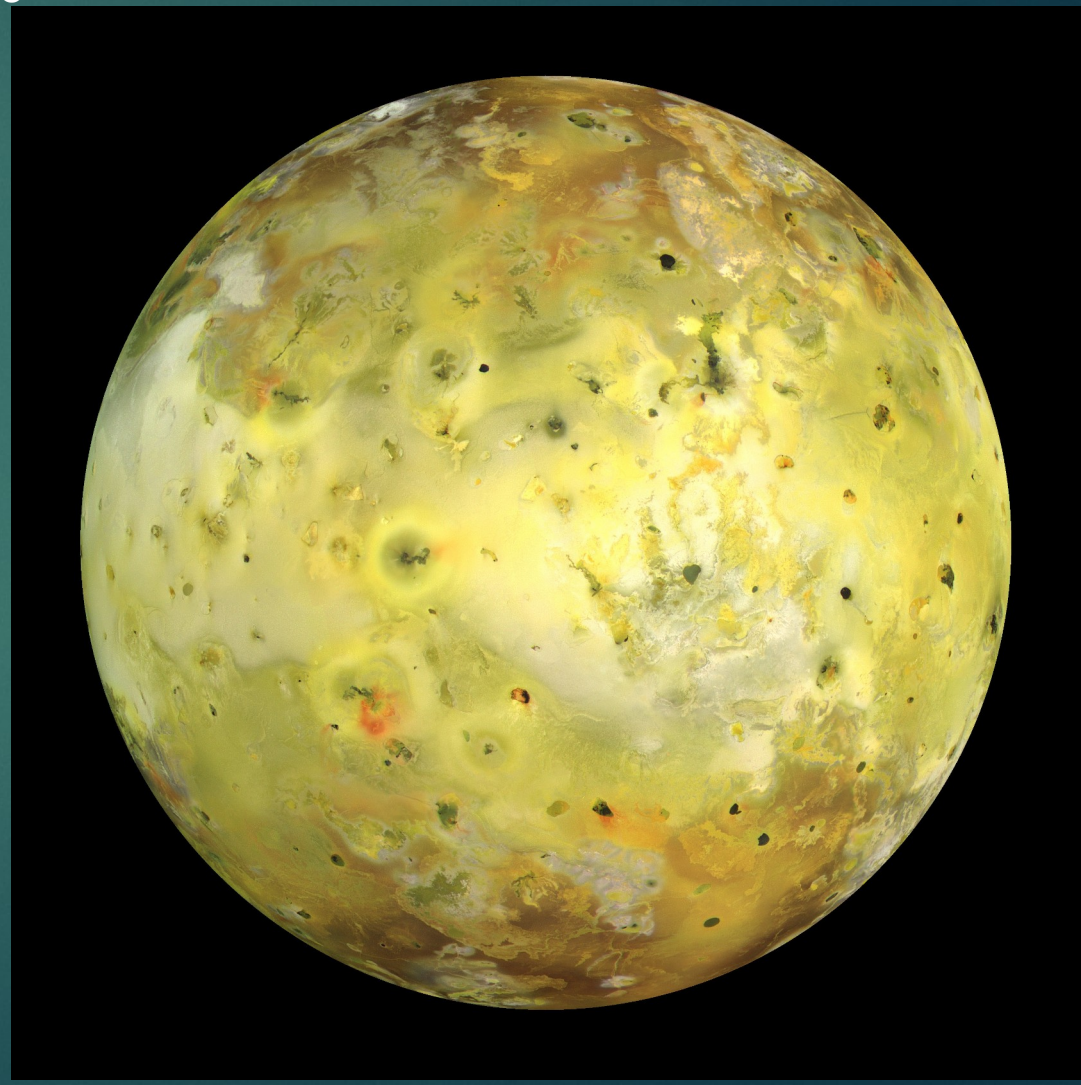


- Di Henrykus - File:Gas Giant Interiors it.png, Pubblico dominio, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=120958586

Satellite Io

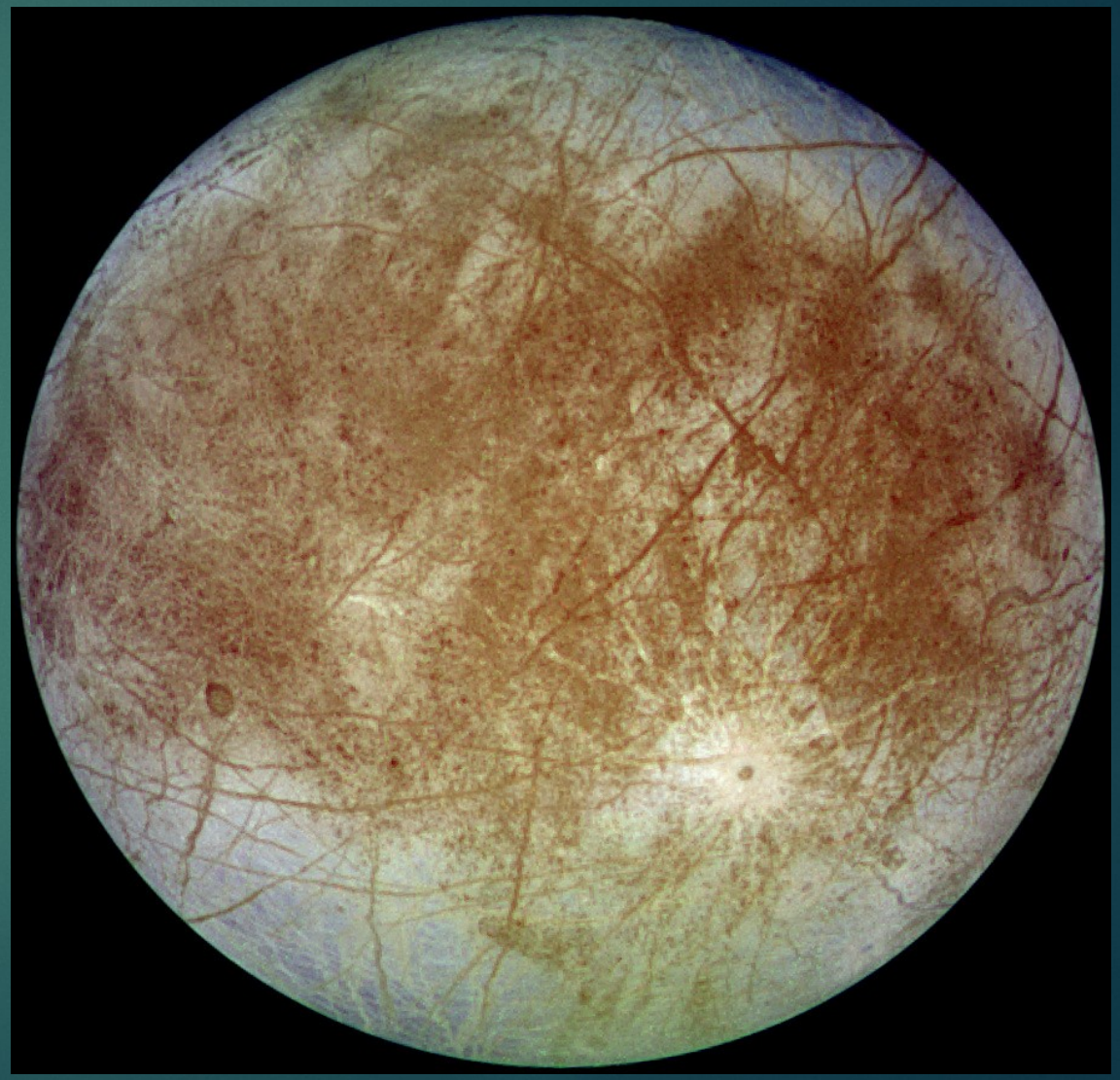
- è il corpo geologicamente più attivo del sistema solare, con circa 400 vulcani attivi. Attrazione mareale di Giove e risonanza con Europa e Ganimede. E' composto da silicati e nucleo di Fe e solfuro di Fe fusi. Ha una tenue atmosfera con SO_2
- Vulcanismo che parte da centinaia

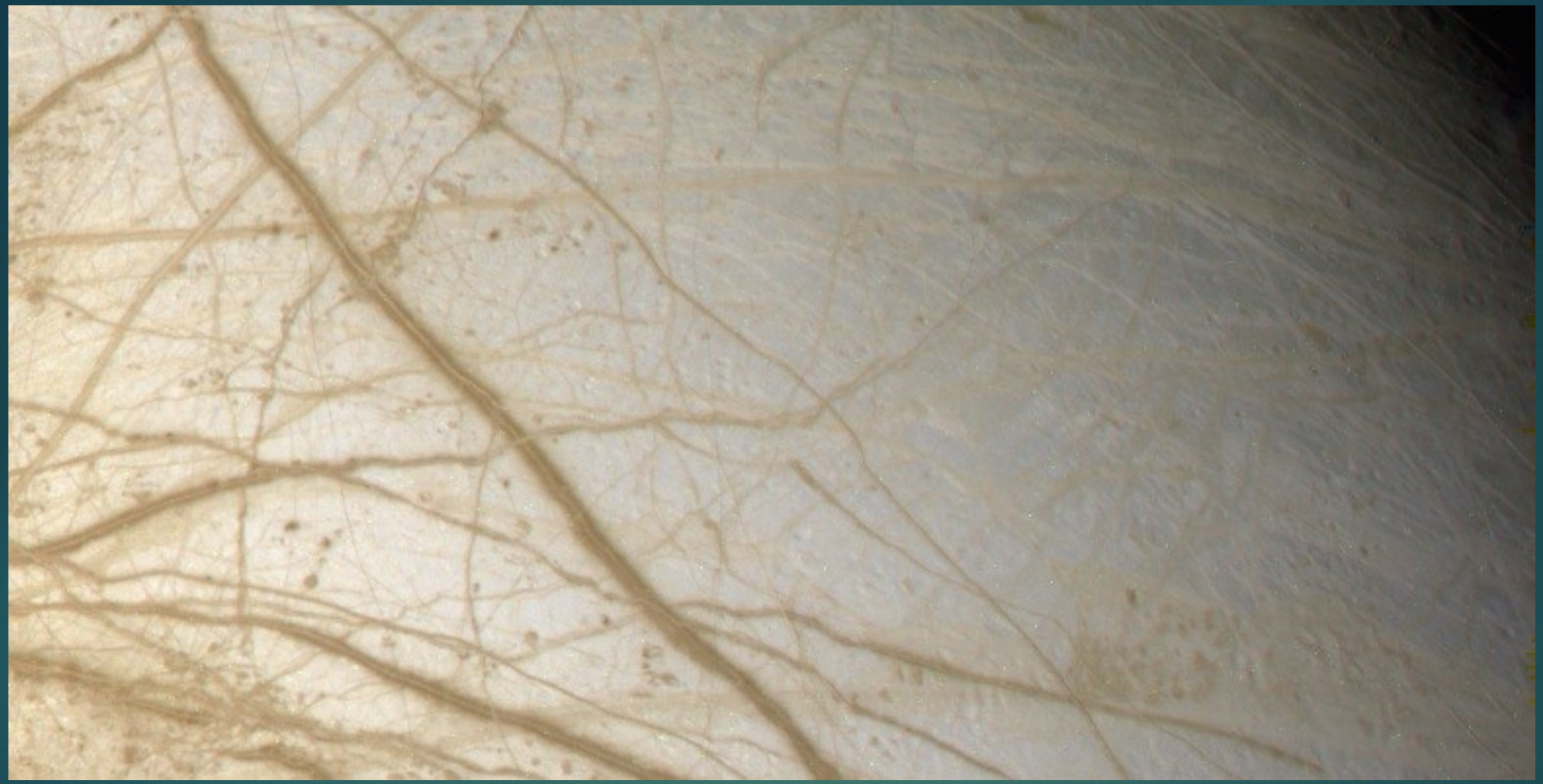
  di hot spot.
- Colate di basalto (vulcani a scudo),
- zolfo, lava silicea a 1300°C
- Eruzioni effusive, a caldera
- (laghi lavici), esplosive
- Pennacchi che arrivano a
- 100-300 km dalla superficie
- Laghi e fiumi di lava
- Montagne alte tra 6 e 17,5 km
- (origine tettonica, non vulcanica)
- Crosta senza crateri perché continuamente rinnovata



Europa

- La superficie più riflettente fra i corpi del sistema solare
- Superficie striata, liscia, con pochi crateri. Creste, avvallamenti, pieghe, faglie, cicloidi.
- Striature (lineae) di materiale scuro, larghe fino a 20 km
- Le striature più vecchie appaiono spostate rispetto alla posizione prevista
- Pochissimi crateri da impatto: superficie che si rinnova? (età stimata: 40-90 m.a.)
- Striature = dorsali?



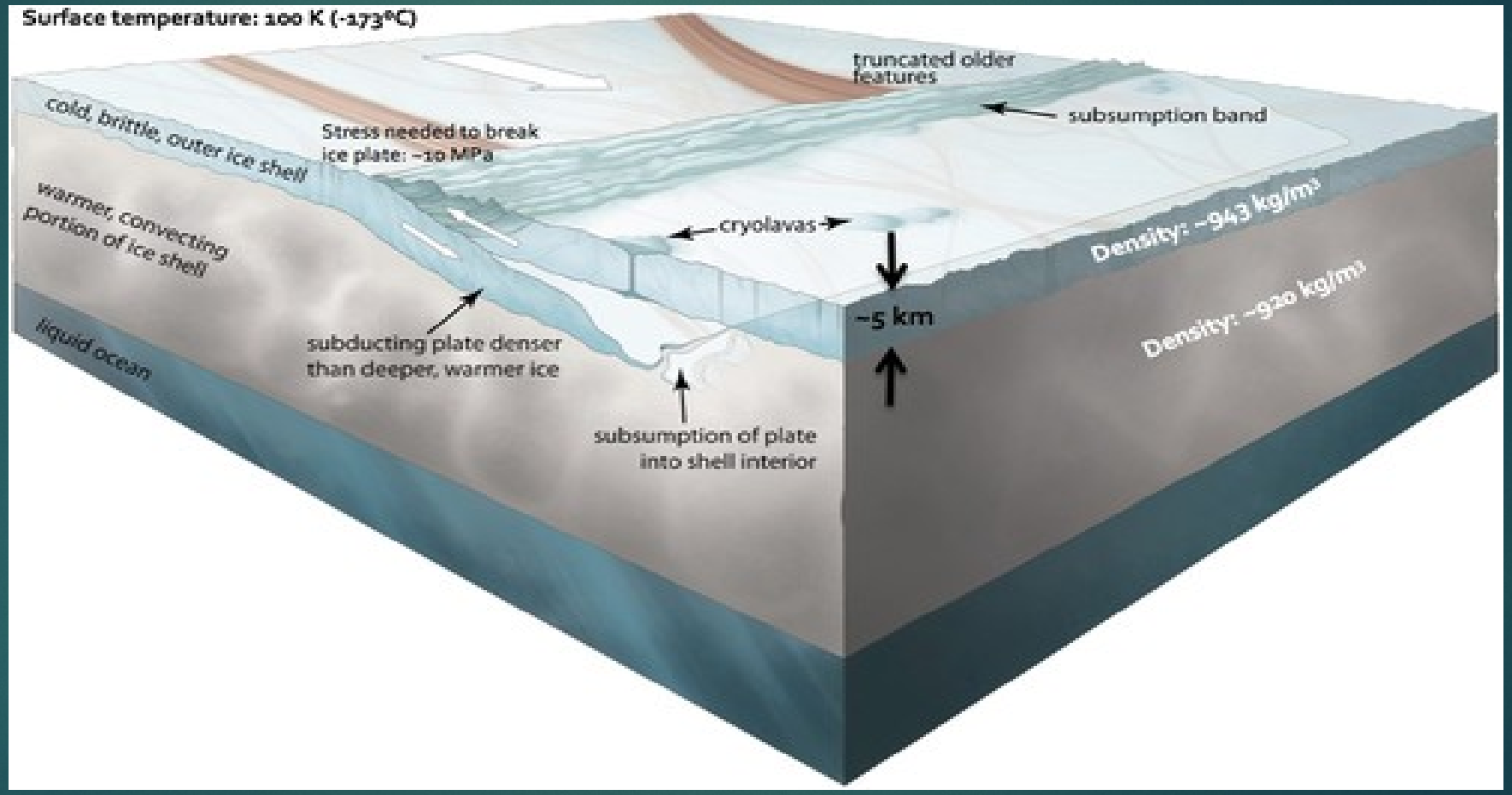


- Particolare della superficie di Europa ripreso dalla sonda Galileo
  (Crediti: NASA)

...un oceano su Europa (e non solo)?

- Dati magnetometrici della sonda Galileo mostrano che tra 5 e 20 km di profondità c'è materiale che conduce elettricità (acqua salata?)
- Riscaldamento interno
- Studio pubblicato nel 2013: il telescopio Hubble ha rilevato pennacchi d'acqua che si innalzano dalla superficie per oltre 200 km, da fratture nell'emisfero meridionale
- Sonda Galileo: fuoriuscite di CO_2 ed SO_2 ed acido solforico (vulcani sottomarini?)
- Perciò i modelli ipotizzano una crosta spessa tra 10 e 30 km ed un oceano profondo anche 100 km, con sorgenti idrotermali
    - Un ambiente adatto alla vita?

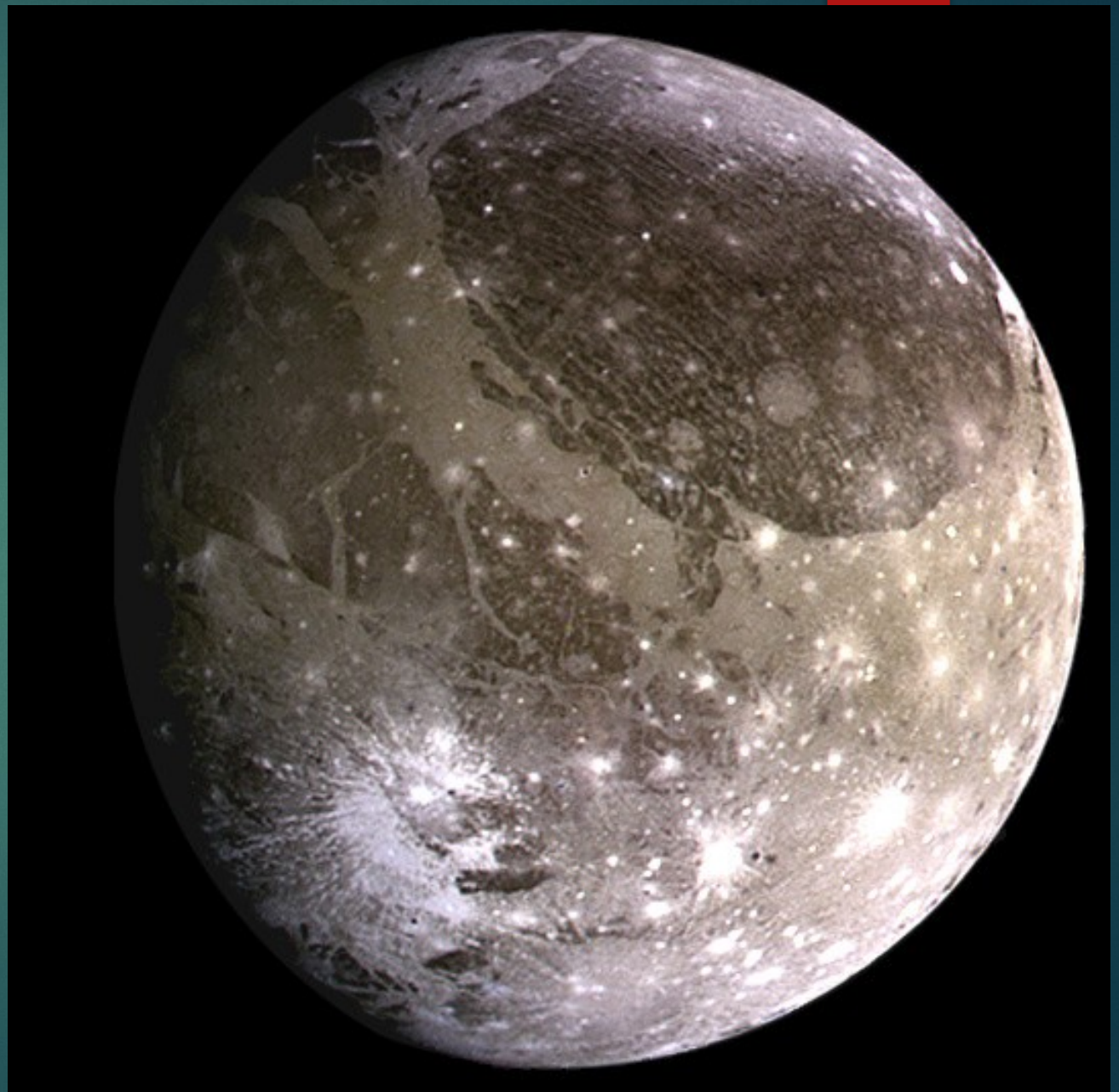
Una tettonica a placche (di ghiaccio) su Europa?



- Crediti: Kattenhorn e Prokter, 2014

Ganimede

- E' il più grande satellite del sistema solare (diametro medio: 5.262,4 km)
- Composto in gran parte di ghiaccio d'acqua
- Regioni scure molto craterizzate (sabbie, argille, mat. organici)
- Regioni chiare più recenti con striature, catene montuose, scoscendimenti e scarpate
- Differenze di probabile origine tettonica: espansione crostale nelle regioni chiare
- Calotte polari con brina

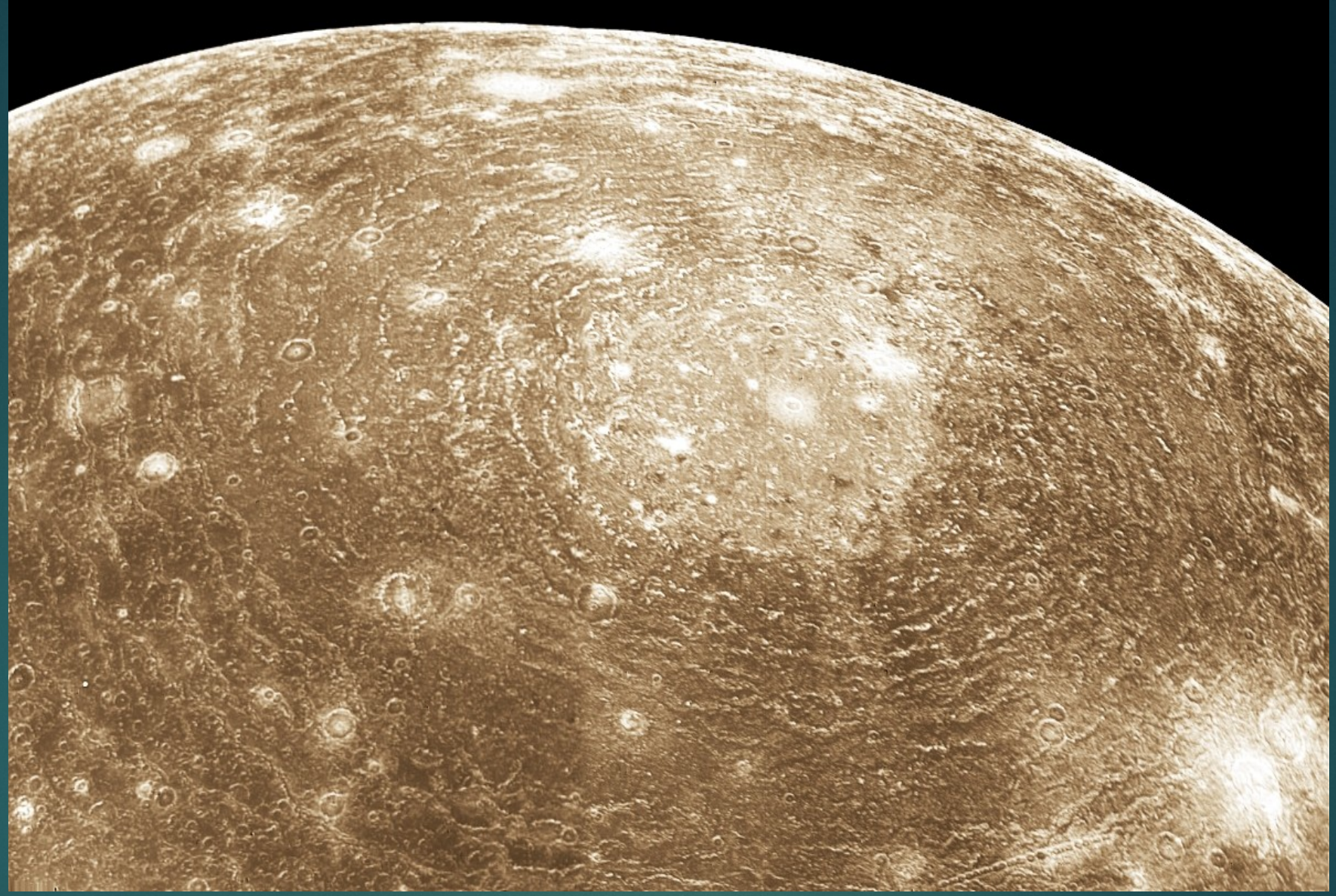


Callisto

- Superficie con ghiaccio, CO_2, silicati,
- composti organici.
- **E' la luna del sistema solare più**
- **pesantemente craterizzata**
- Crateri, strutture ad anello, scarpate,
- No montagne
- Ha la densità più bassa fra i 4 medicei. Poco differenziato. Probabile oceano a più di 100 km di profondità. Nucleo di roccia e ghiaccio compressi.
- Sulla sua superficie è stata rilevata spettroscopicamente

la presenza del ghiaccio d'acqua, del biossido di carbonio, di silicati e composti organici.

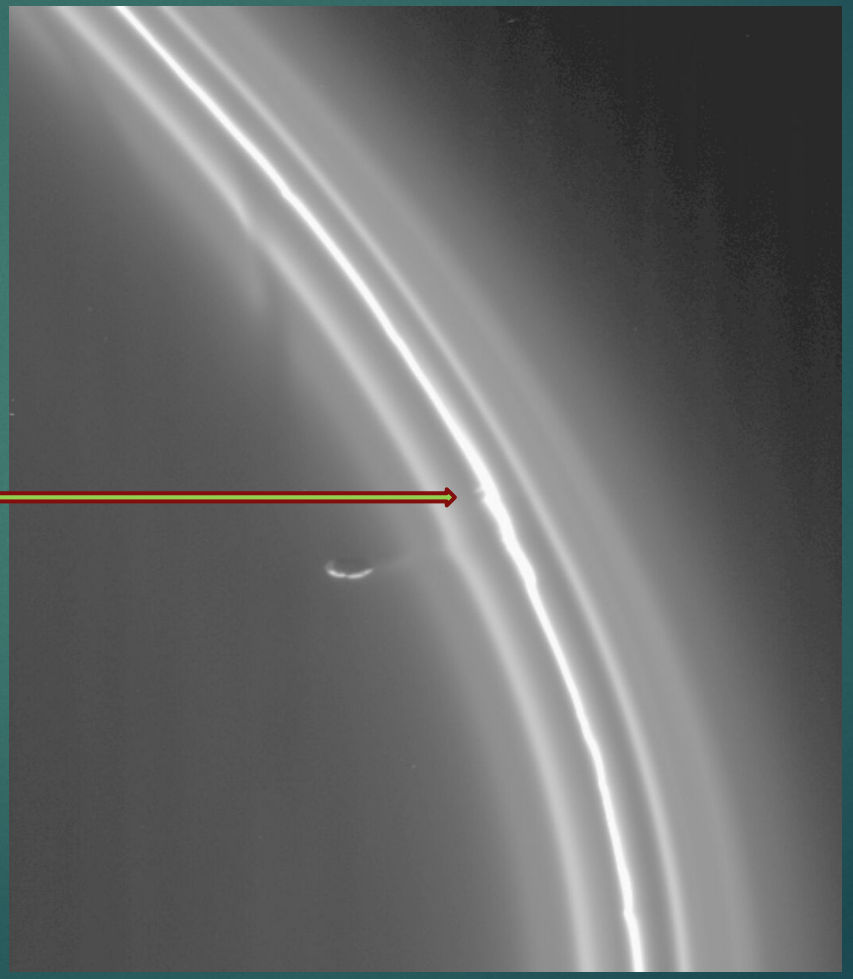
- Sottile atmosfera di CO_2



- Formazione **“Walhalla”** ripresa da Voyager 1: diametro cratere centrale
- 600 km, struttura ad anello 1600 km

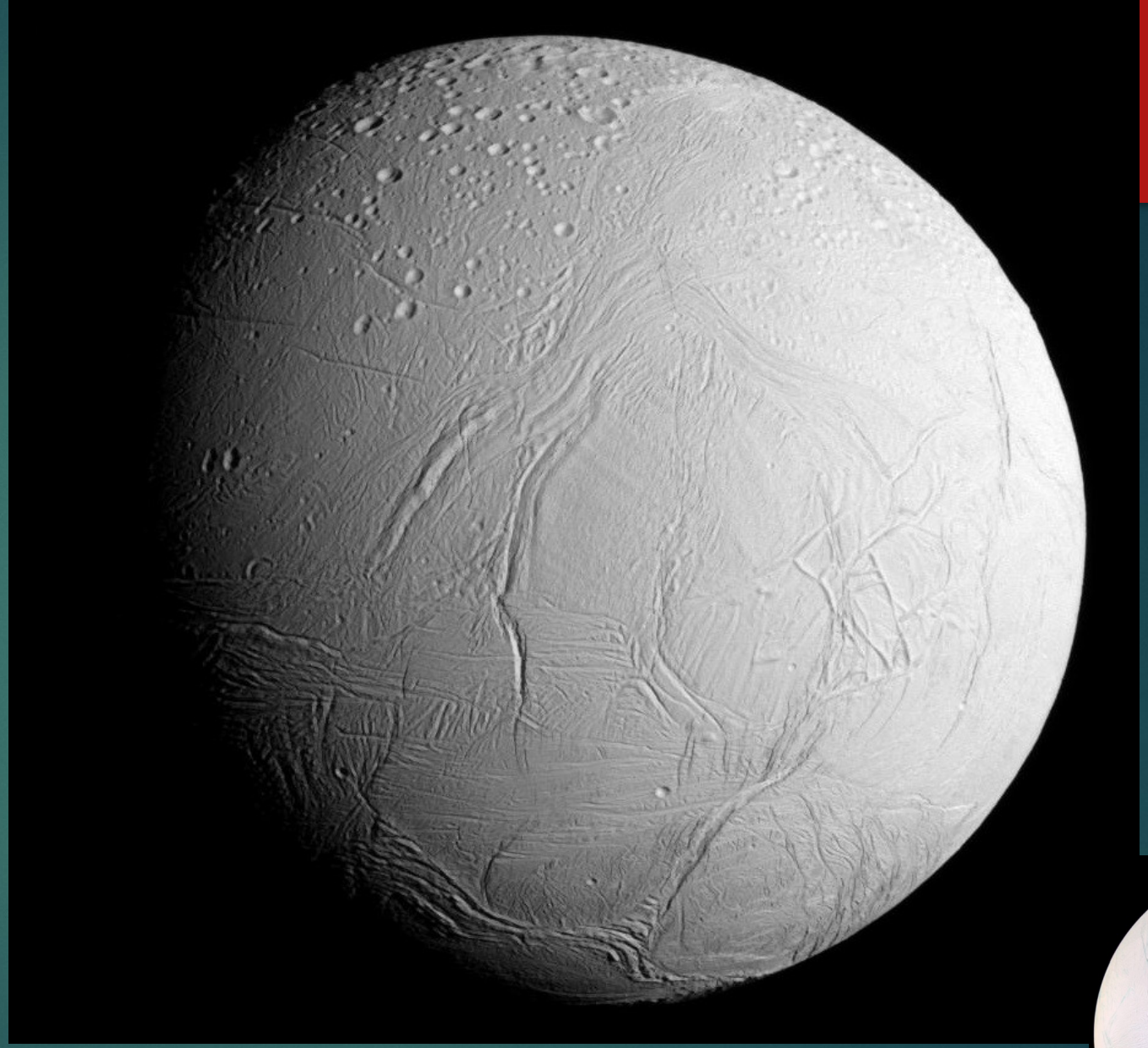
Saturno

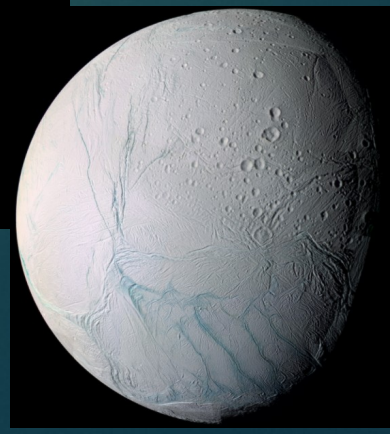
- Struttura interna simile a quella di Giove, ma meno denso
- Sistema di Anelli planetari con spessore medio di circa 10m e larghezza di 100.000 km, composti da frammenti di roccia e ghiaccio
- La struttura di molti anelli è influenzata gravitazionalmente dalle Lune pastore (es. Prometeus, ripreso dalla sonda Cassini nel 2004)
- Recenti teorie ipotizzano che la loro esistenza sia temporanea e recente



Encelado

- Regioni con pochi crateri (superficie giovane)
- Solchi **(Tiger stripes)**
- **Alta riflettività**
- Ma soprattutto…

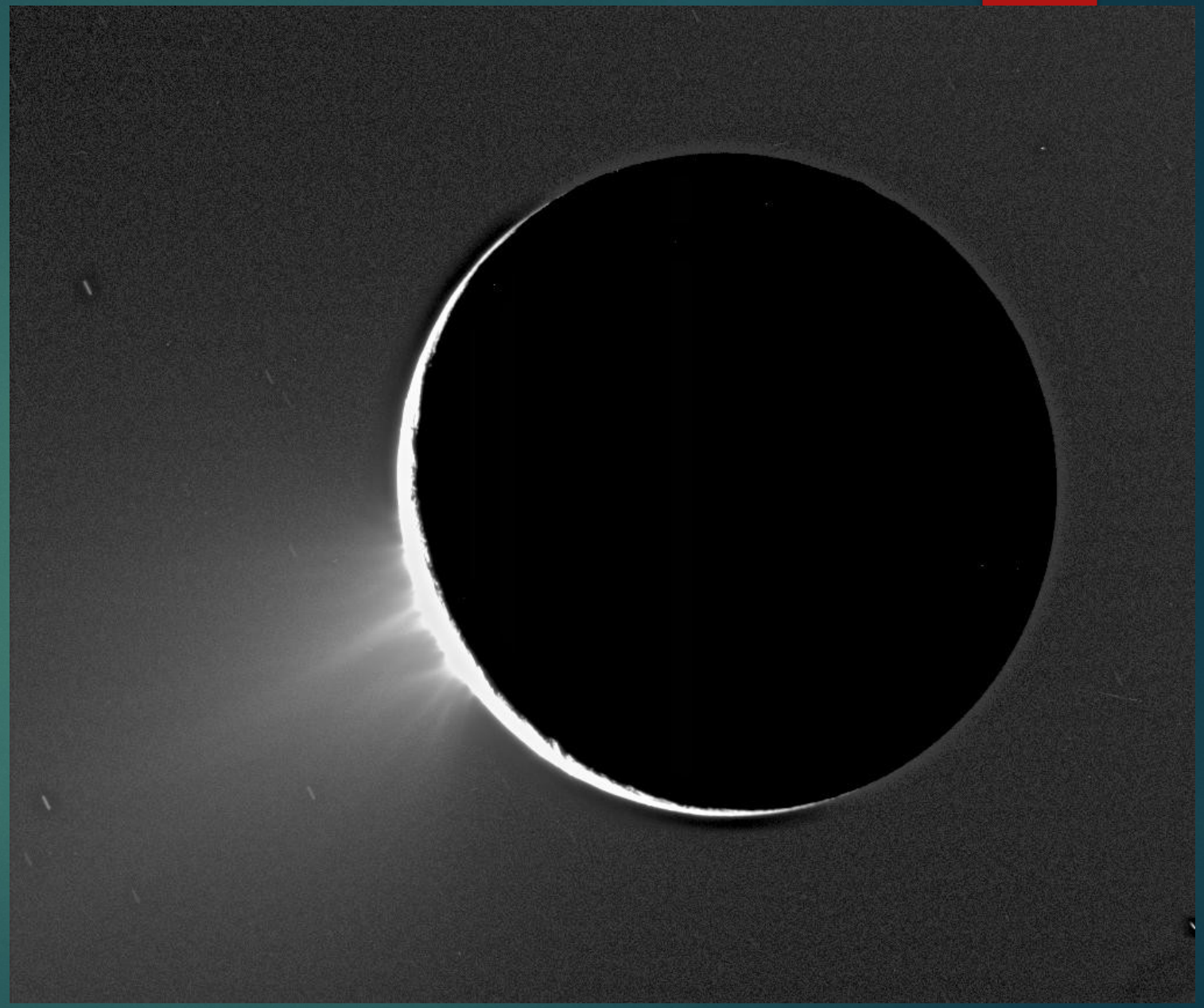


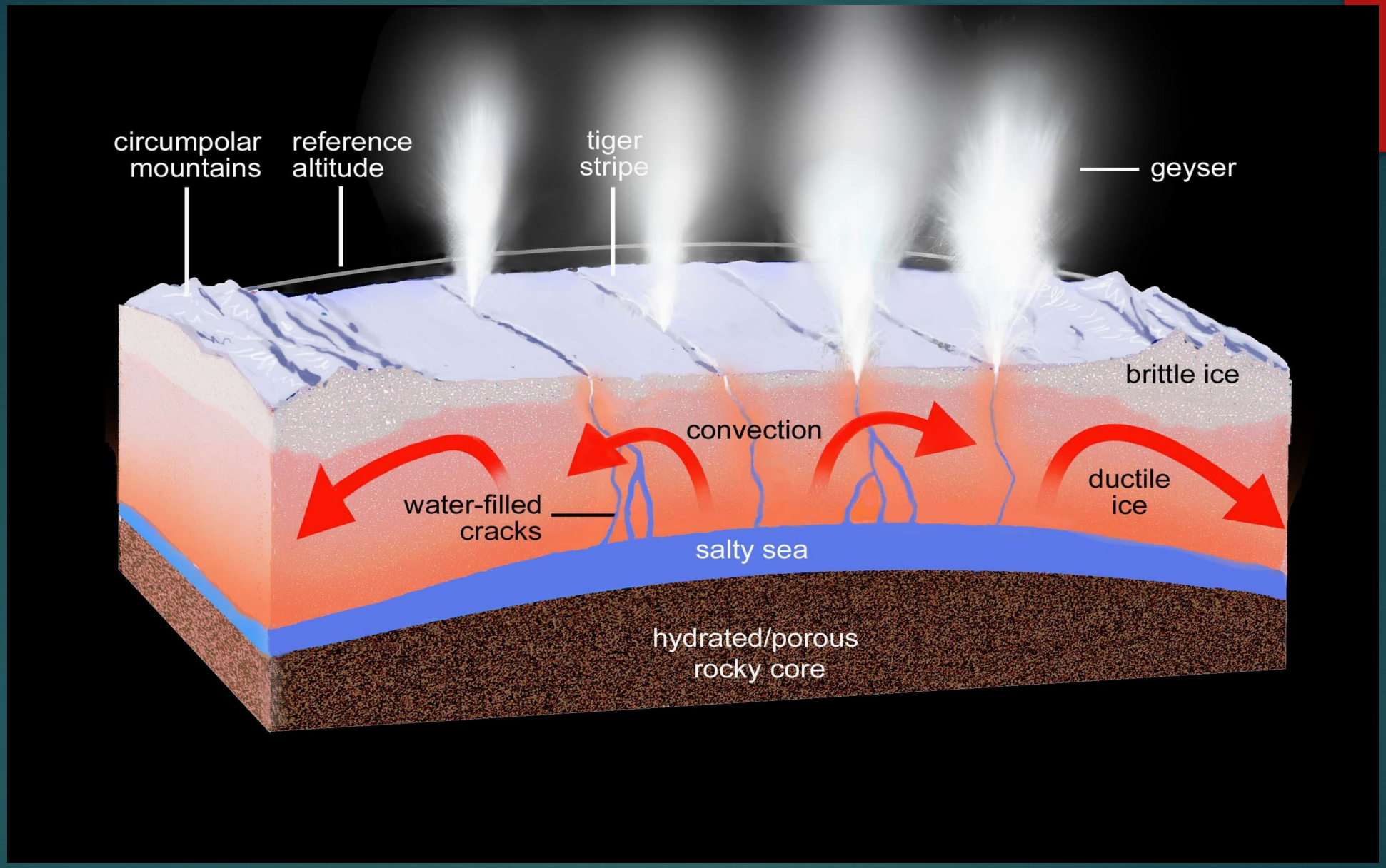


- Fonte: Missione Cassini-Huygens

- Geysers al polo sud!

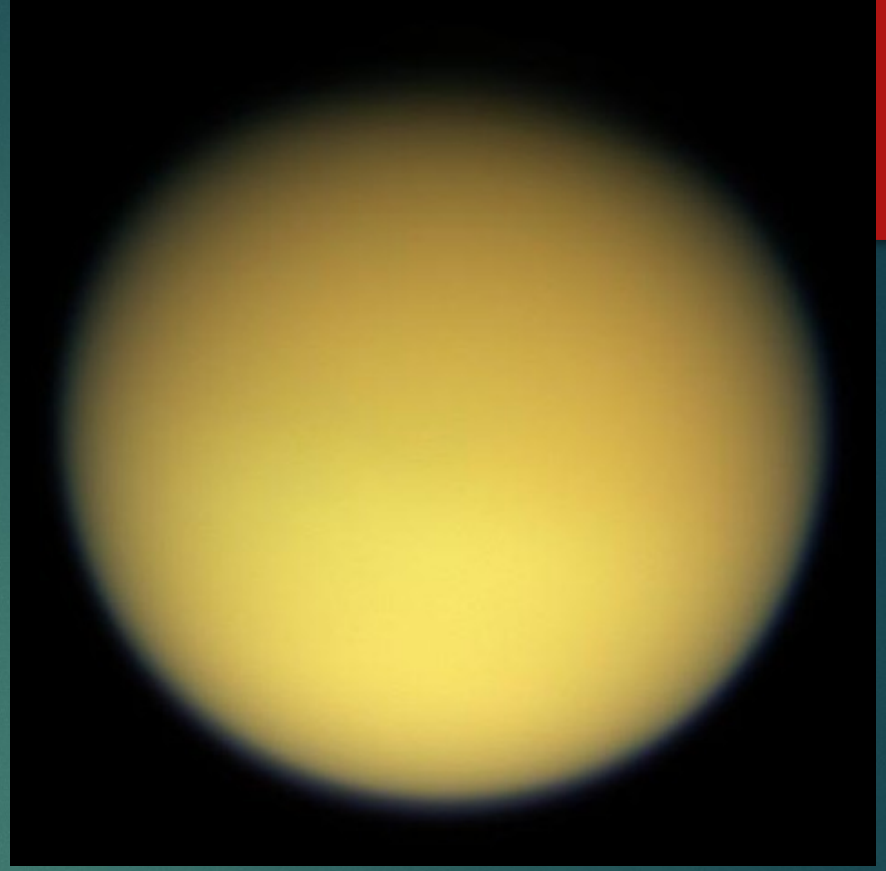
- H_2O, CO_2
- CH_4, NH_3
- Ar, Mg
- Formaldeide,
- Acetilene
- Molecole organiche pesanti





- Fonte: Cyclops.org

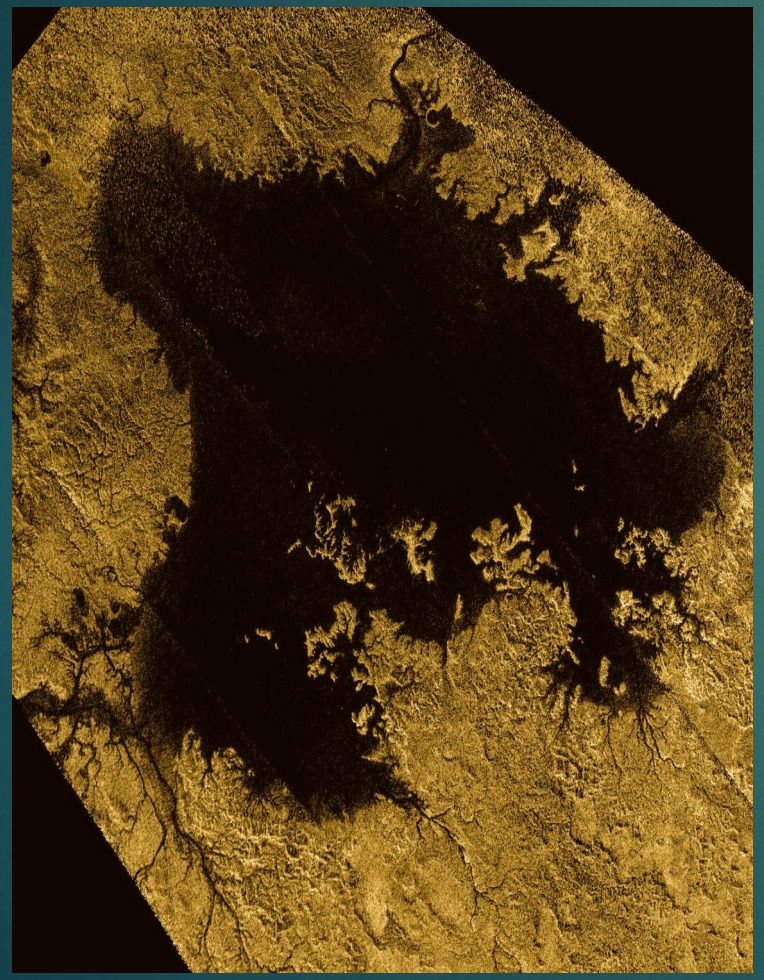
Titano

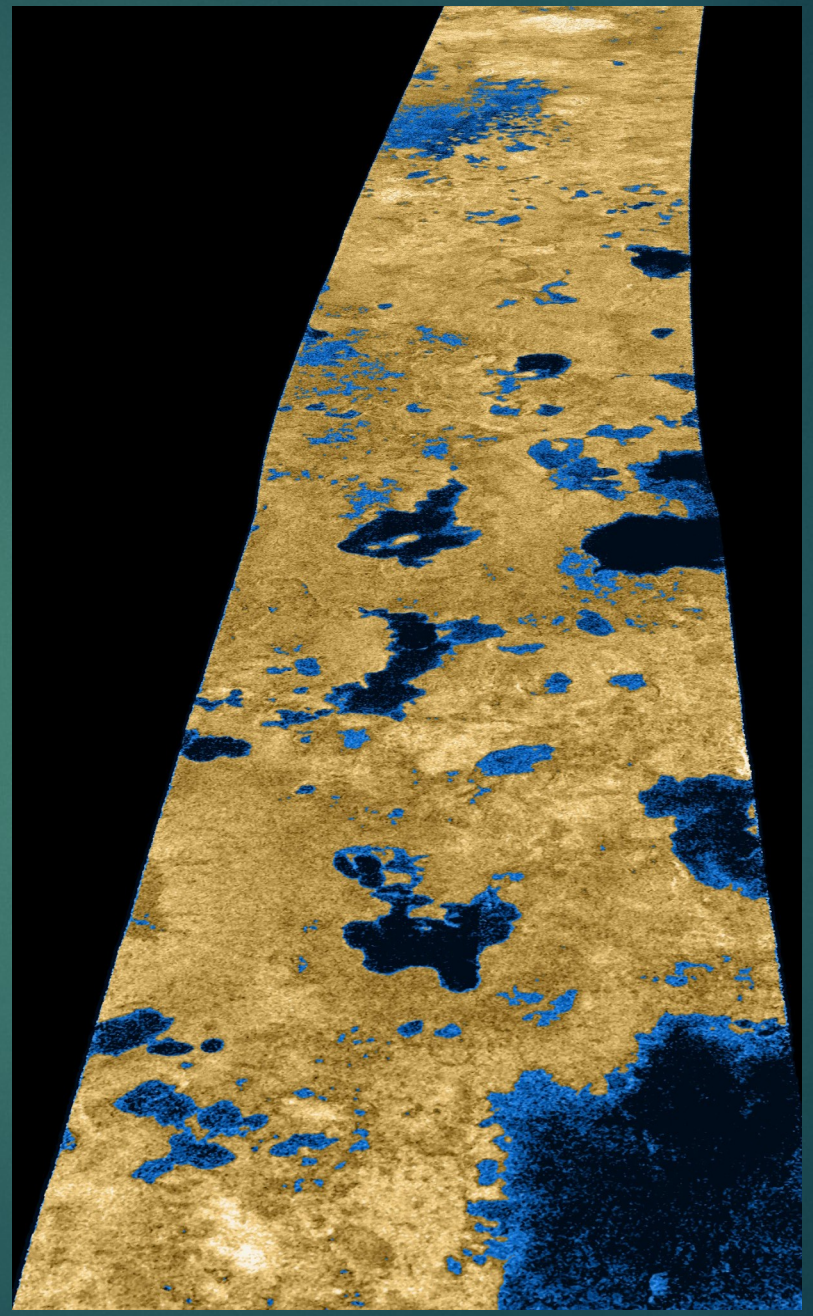


- Diametro medio 5150 km
- Densità media $1,88 \times 10^3$ kg/m^3
- Segni particolari: è più grande di Mercurio ed è il secondo satellite naturale per dimensioni del sistema solare.
- Unico satellite con una densa atmosfera

Superficie di Titano

- Immagini radar in falsi colori di
- laghi di metano vicino al polo nord



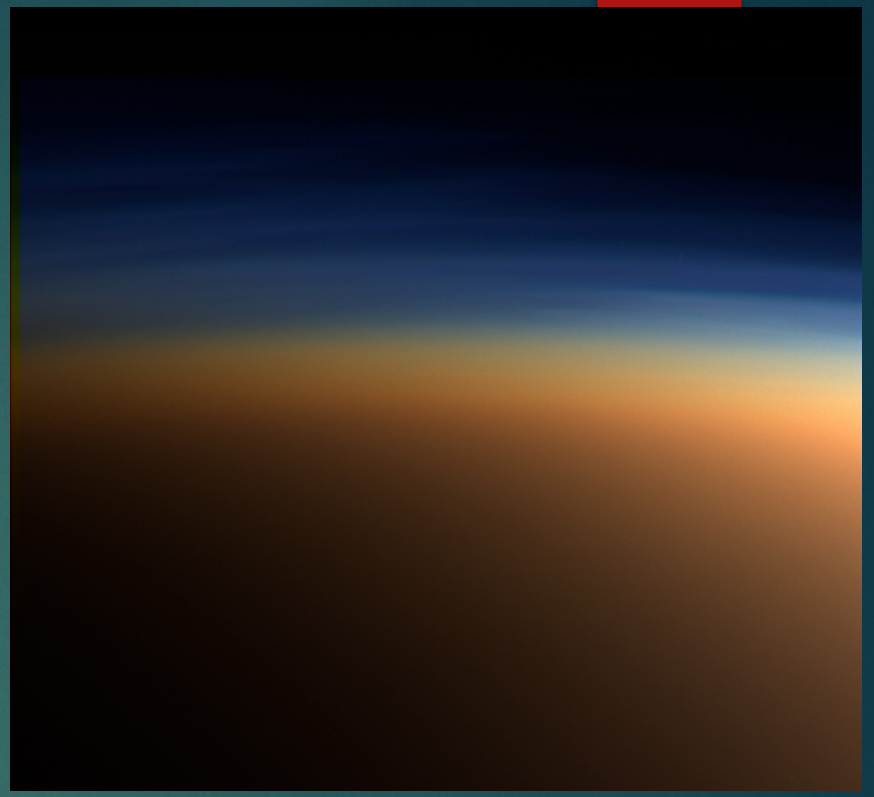


La sonda Huygens è atterrata ed ha trovato:

- Sassi di ghiaccio d'acqua
- Superficie di acqua e
- idrocarburi ghiacciati
- Foschia di idrocarburi
- Tracce di scorrimento liquidi

- Fonte: lander Huygens
- ESA/NASA / JPL/UA

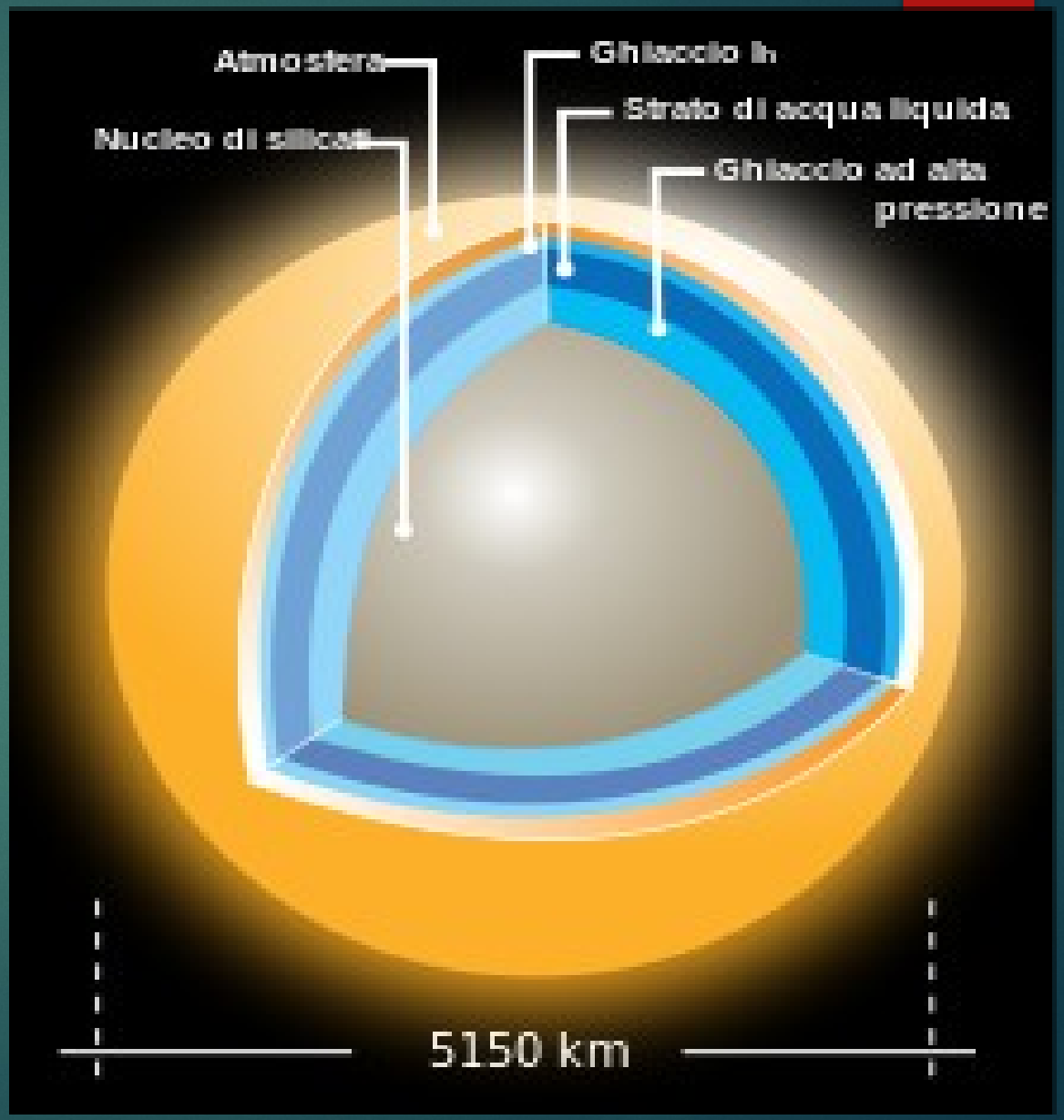
Atmosfera di Titano



- E' spessa il doppio di quella terrestre!
- Pressione al suolo 1,45 volte
- Massa 19% in più
- Composizione: 98% Azoto, 1,4 % Metano, 0,1-0,2% Idrogeno, tracce di altri idrocarburi
- Teorie:
- il metano proviene da criovulcani → ciclo "idrologico"
- Gli altri idrocarburi derivano dal metano per fotolisi nell'alta atmosfera ad opera dei raggi UV
- Temperatura alla superficie: -179°C (-191°C senza effetto serra metano)

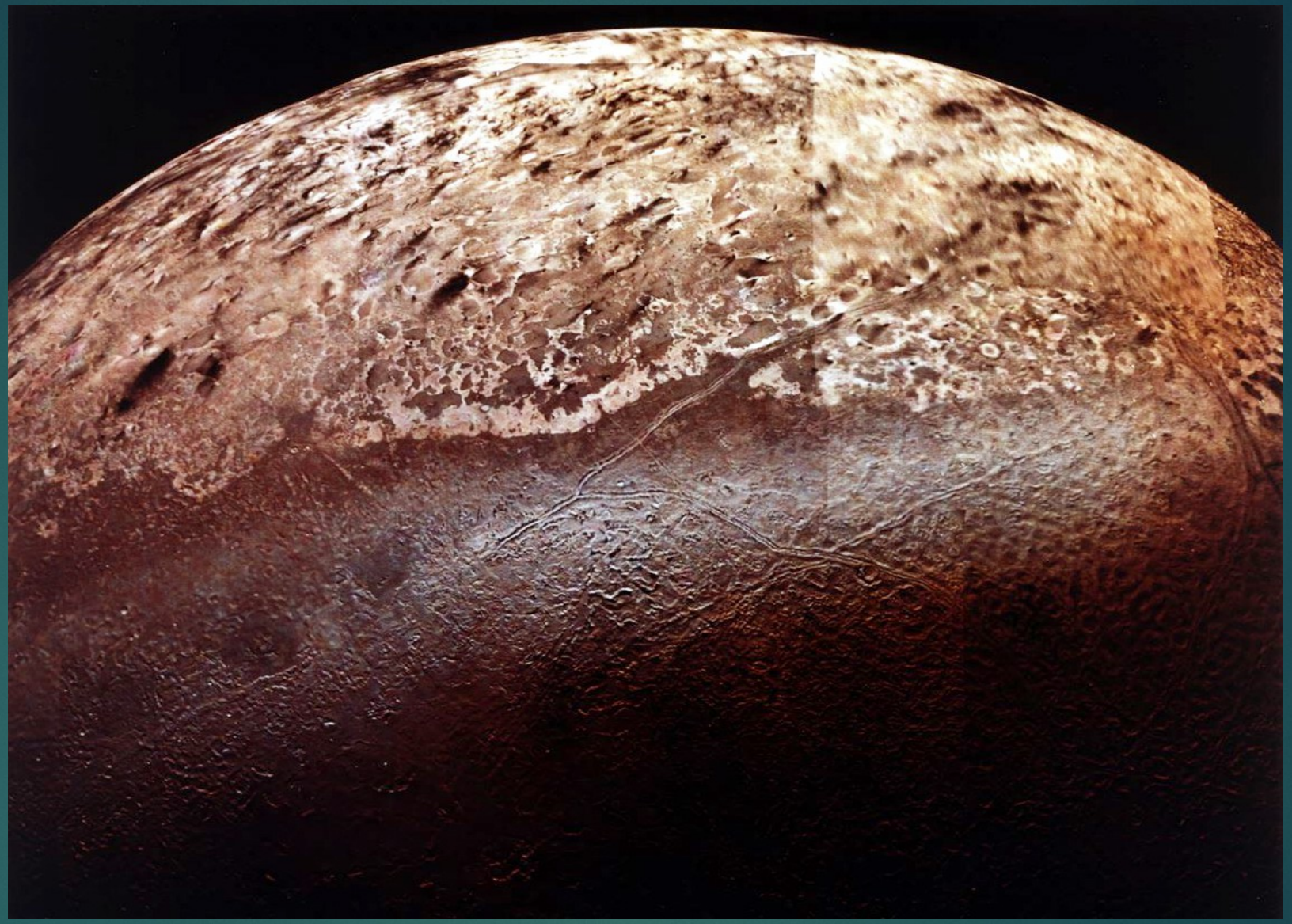
Struttura interna di Titano

- Densità compatibile con 60% roccia, 40% acqua
- Crosta che si deforma e si muove
- onde ELF che evidenziano probabile discontinuità ghiaccio-liquido: probabile oceano sotterraneo
- Nucleo roccioso di circa 3400 km



Tritone (Nettuno)

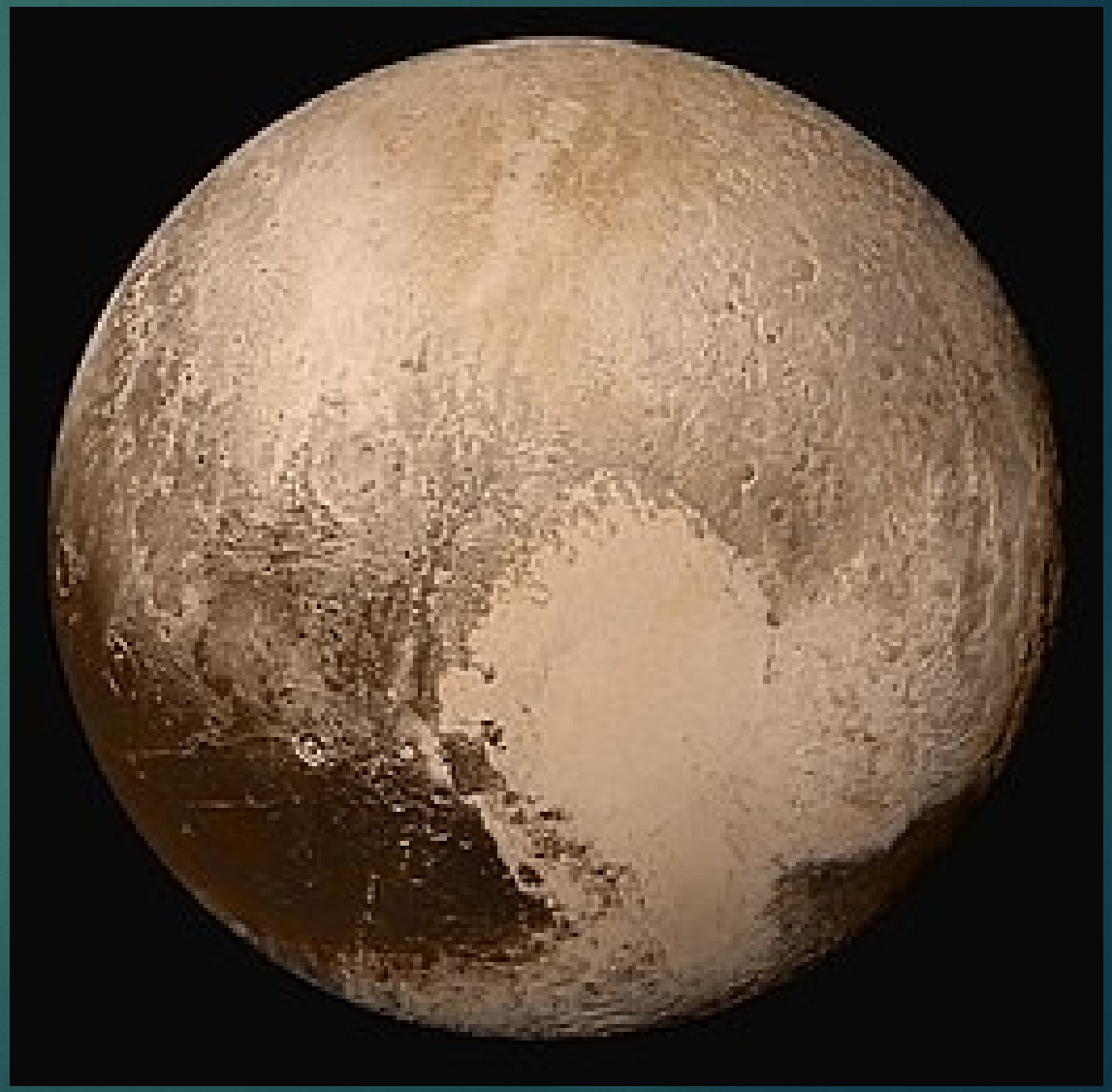
- Si ritiene sia un satellite catturato da Nettuno, infatti ha raggio, densità (2,061 g/cm^3),
- temperatura (-273,6 °C) e composizione chimica simile a quelle di Plutone
- Il 55% della superficie di Tritone è composta da azoto ghiacciato, con ghiaccio d'acqua in misura compresa tra il 15 e il 35%, più un 10-20% di ghiaccio secco. Geologicamente attivo: pochi crateri, vulcani di N liquido che formano geysers. probabile presenza di criovulcani (in nero). Tritone ha un'albedo notevolmente alta, visto che riflette il 60-95%. Il colore rossastro di Tritone si pensa derivi dal ghiaccio di metano che viene convertito in tolina sotto il bombardamento delle radiazioni ultraviolette.



- Calotta meridionale di Tritone (azoto e metano ghiacciati) con probabile presenza di criovulcani (in nero). Il resto della superficie presenta pochi crateri e alcuni solchi

Plutone

- Esplorato per la prima volta dalla sonda della NASA New Horizons il 14 Luglio 2015
- Orbita molto eccentrica
- La superficie è composta per oltre il 98% di ghiaccio d'azoto, monossido di carbonio e tracce di metano
- Le montagne sono invece costituite da acqua ghiacciata.
- La temperatura stimata su Plutone è di 40 K, circa -233 °C
- Ha una tenue atmosfera che congela quando Plutone è più lontano dal Sole

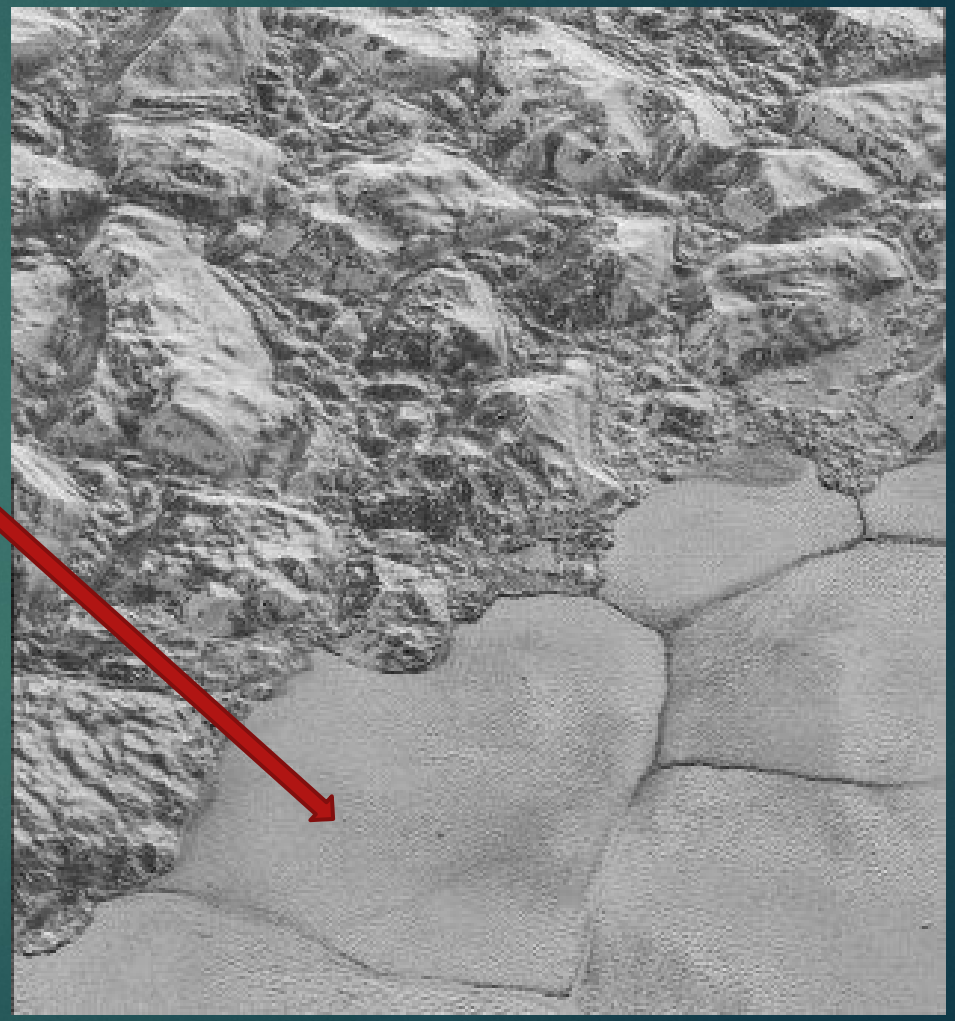


Una superficie assai varia

- Sputnik planitia

- Superficie della Tombaugh regio senza crateri (superficie giovane?) e con dune di metano solido

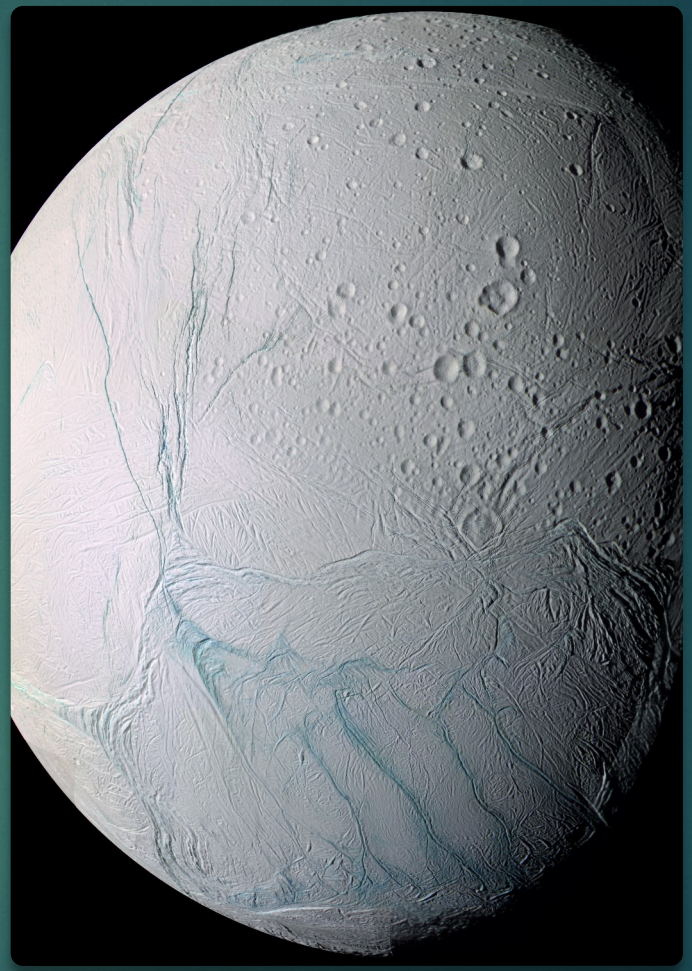
Crediti: Nasa / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory / Southwest Research Institute / Media Inaf



Caronte

- Semiasse maggiore 19 57 km
- Diametro 1207 km
- Periodo orbitale 6 g 9 h
- Rotazione sincrona e
- "geostazionaria"
- Superficie: ghiaccio d'acqua; a N regione scura (toline?). Emisfero meridionale con pochi crateri. Al centro sistema di fratture

Bibliografia consultata

- B. Accordi, E.L. Palmieri, M. Parotto - Il globo terrestre e la sua evoluzione - 4. ed., Zanichelli, 1993
- S. Foglia – Asteroidi – *Astronomia*, n. 5 (2006)
- Marte – National Geographic, RBA Italia, 2018
- G. Gottardi – I minerali – Boringhieri, 1984
- Borovicka, M.R.J. Et al. – Physical and chemical properties of meteoroids in: Meteoroids (pp. 37-62) – Cambridge university press, 2019
- Il sistema solare - National Geographic, RBA Italia, 2018
- Fabio Balestra et al. - To the Moon and back : un viaggio alla scoperta della Luna - [Savignano sul Rubicone] : Associazione astronomica del Rubicone, 2021
- Four centuries of the word Geology : Ulisse Aldrovandi 1603 in Bologna - edited by Gian Battista Vai & William Cavazza -Argelato : Minerva, 2003
- Herrick RR, Bjonnes ET, Carter LM, Gerya T, Ghail RC, Gillmann C, et al. - Resurfacing History and Volcanic Activity of Venus - Space Sci Rev. giugno 2023;219(4):29.
- Nimmo, F. and McKenzie, D. - Volcanism and tectonics on Venus – Ann. Rev. Earth Plan. Sci. 1998-01, Vol.26 (1), p.23-51
- Voci ed immagini da Wikipedia

Grazie per l’attenzione!