

Introduzione allo studio del Sistema Solare

II parte

Lezione SP 2
G. Vladilo

Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

1

Superfici planetarie con crateri di impatto collisionale

- **In assenza di atmosfera e di attività geologica persistente, le superfici dei pianeti rocciosi sono dominate dai crateri di impatto collisionale**
 - Potrebbe comunque esserci un'alterazione delle superficie causata dal vento solare o dai raggi cosmici ("space weather")
 - Gli effetti di "space weather" possono essere notevolmente attenuati dalla presenza di un campo magnetico planetario che protegge la superficie dall'impatto di particelle cariche
- **Esempio di superficie dominata da crateri d'impatto**
 - Mercurio
 - Immagine da sonda NASA Messenger
- **Importanza dei crateri d'impatto**
 - Record della storia di collisioni con corpi minori del Sistema Solare (storia della formazione del Sistema Solare)



Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

2

Pianeti con attività geologica

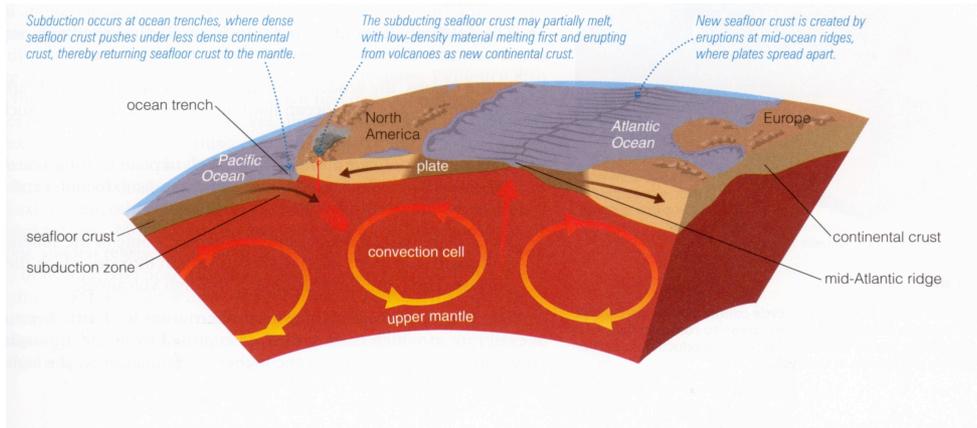
- **Pianeti con attività geologica al momento attuale**

- Unico pianeta con attività geologica continua è la Terra

Vulcanismo e fenomeni tettonici

Gli strati più superficiali della Terra (crosta terrestre) sono fortemente processati da fenomeni tettonici

Regioni di crosta terrestre molto antiche dal punto di vista geologico (~3-4 miliardi di anni) sono relativamente rare



Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

3

Pianeti con attività geologica

- **Evidenze di attività geologica nel passato**

- **Marte**

Prime fasi dopo la formazione planetaria

- **Venere**

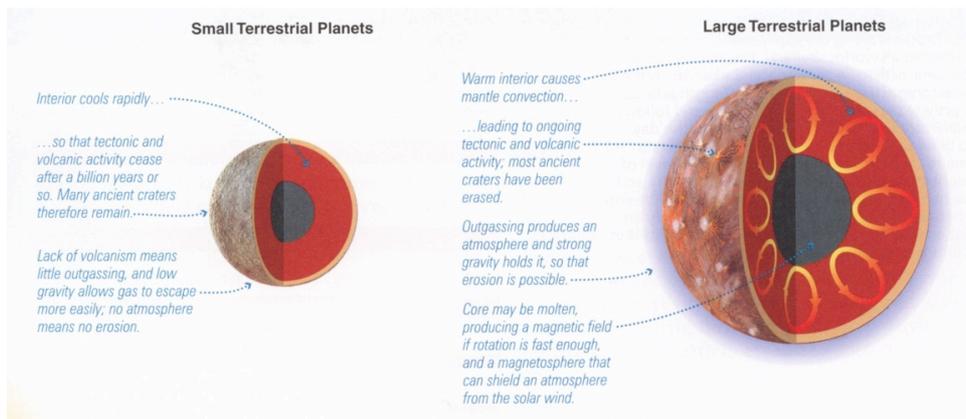
Anche in tempi relativamente recenti

- **Fonti di energia per l'attività geologica**

- Sorgenti interne di energia: calore radiogenico (principale sorgente nel caso della Terra) e calore residuo

- La dimensione dei pianeti rocciosi gioca probabilmente un ruolo importante nella storia dell'attività geologica

Se la massa è troppo piccola l'interno raffredda troppo rapidamente per mantenere l'attività geologica

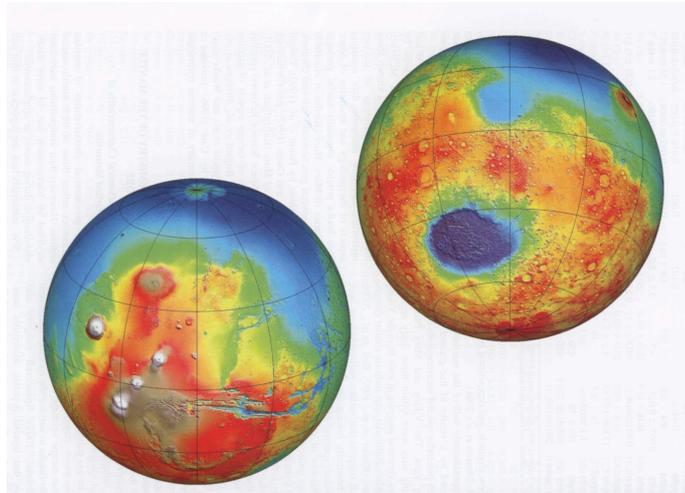


Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

4

La superficie di Marte

Esempi di diversi tipi di processi superficiali



Topografia di Marte ottenuta da dati del Mars Global Surveyor.
Si possono distinguere zone ricche di crateri di impatto (immagine a destra),
zone con vulcani di grandi dimensioni (immagine a sinistra)
e zone pianeggianti basaltiche (parti in alto delle immagini).

Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

5

Pianeti con idrosfera

- **Terra**

- Caso unico tra i pianeti rocciosi la Terra ha oceani di acqua in superficie
- Attualmente circa il 71% della superficie terrestre è occupata da oceani
 - Tale frazione può essere cambiata nel tempo come conseguenza dei fenomeni tettonici
- Più della metà degli oceani ha una profondità di 3000 m
- A causa dell'alta capacità termica dell'acqua, la presenza di oceani ha un effetto determinante sul clima
 - Le correnti oceaniche rappresentano una forma di trasporto di energia lungo la superficie terrestre



Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

6

Interni planetari: tecniche osservative

- **Dati disponibili per la Terra**

- Sismologia & sismica

- Analisi delle onde sismiche

- Esistenza di discontinuità, esistenza di fasi liquide nell'interno

- Sismologia: studi di terremoti

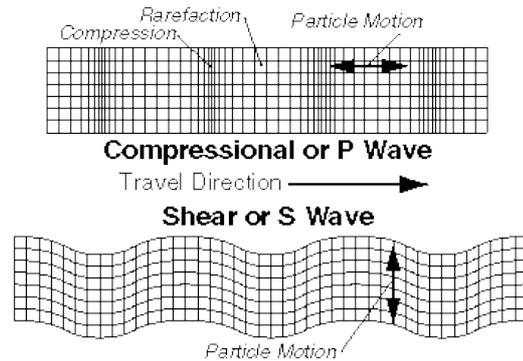
- Informazione sugli strati più profondi

- Sismica: analisi di scosse artificiali

- Informazione su strati superficiali

- Analisi dettagliata di rocce superficiali che danno informazione su processi interni

- Ad esempio, rocce vulcaniche



Le onde P ed S hanno diverse velocità di propagazione (le S sono più lente) e diverso comportamento rispetto ai liquidi (le S non si propagano nei liquidi)

Interni planetari: tecniche osservative

- **Dati disponibili da misure di sonde spaziali**

- Applicabili alla Terra e per altri pianeti

- Densità media

- Modelli di composizione chimica

- Equazione di stato (EOS)

- Misure gravimetriche

- Distribuzione delle masse

- Misure del campo magnetico

- Distribuzione e dinamica di materiale conduttivo

- Esistenza di un core metallico fuso

Differenziazione degli interni planetari

Processo di separazione di strati interni planetari
sulla base delle proprietà fisiche e chimiche
dei materiali che li costituiscono

L'esistenza di differenziazione
è uno dei criteri per distinguere corpi minori da pianeti e satelliti:
se i corpi sono sufficientemente piccoli non c'è differenziazione

Differenziazione degli interni planetari

- **Processi fisici di differenziazione**
 - I gradienti di temperatura e pressione negli interni planetari portano a dei processi di stratificazione sulla base della densità e punto di fusione dei materiali
 - I principali elementi o composti pesanti, come il Fe, tendono ad accumularsi in un core centrale; se la temperatura centrale è sufficientemente alta, il core è costituito di metallo fuso
 - I principali composti di bassa densità si trovano nelle parti più esterne (mantello); tipicamente il mantello è composto di silicati
- **Processi chimici di differenziazione**
 - Processi di separazione che avvengono sulla base delle proprietà chimiche; sono anche indicati come processi di frazionamento
 - Gli elementi chimici meno abbondanti si differenziano sulla base della loro affinità chimiche con i composti più abbondanti (Fe o silicati), piuttosto che sulla base della loro densità
 - Esempio: l'uranio, pur essendo molto pesante, ha affinità chimica con i silicati e si trova principalmente nel mantello, associato ai silicati, piuttosto che nel core

Struttura interna della Terra

- **Crosta**

- Continentale (princ. **granito**)
 $\rho \sim 2.75$
- Oceanica (princ. **basalto**)
 $\rho \sim 3.1$

- **Mantello**

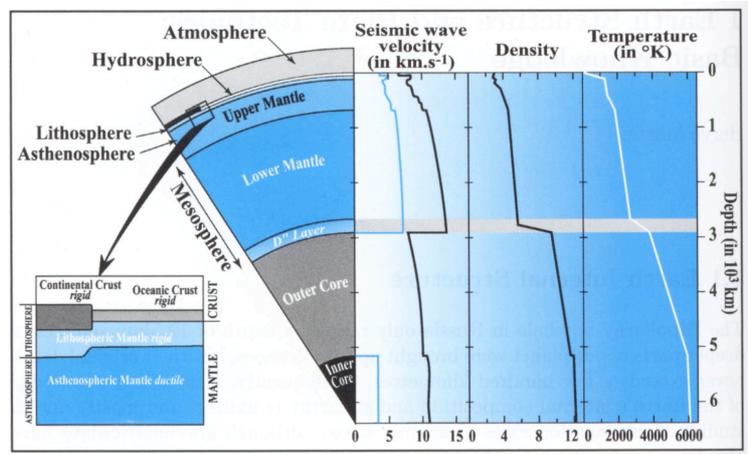
Si estende fino a una profondità di 2900 km (**silicati**)

- Superiore
Convettivo ; $\rho \sim 3.3-4.5$; $T \sim 900-1900$ K
- Inferiore
Solido ; $\rho \sim 4.5-5.5$; $T \sim 1900-2500$ K

- **Core**

- Esterno (**Fe, Ni, S?**)
Liquido ; $\rho \sim 9.5-11$; $T \sim 3800-6000$ K
- Interno (**Fe, Ni**)
Solido ; $\rho \sim 12$; $T \gg 6000$ K

Martin, Lectures in
Astrobiology, p. 428



Astronomia Osservativa C, SP 2, Vladilo (2011)

11

Sorgenti di calore interno

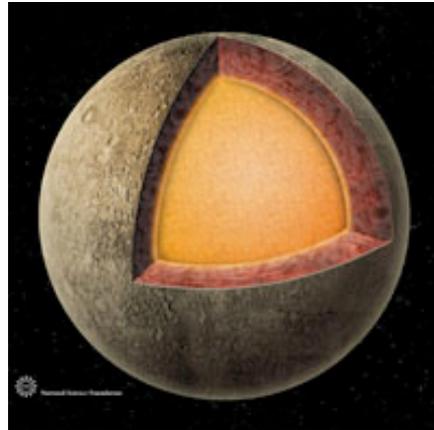
- In linea di principio, sorgenti di calore interno possono influenzare la temperatura delle superfici planetarie
- Nel caso della Terra
 - la principale sorgente di calore interno è il decadimento radioattivo di isotopi con tempi di vita comparabili all'età della Terra
 ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K
 - Al momento attuale si stima che la potenza liberata complessivamente in questo modo dalla crosta terrestre sia di $\sim 42 \times 10^{12}$ W
Corrisponde a ~ 0.08 W/m² alla superficie terrestre
Completamente trascurabile rispetto al valore della costante solare
 - Nelle prime fasi della vita della Terra il decadimento radioattivo e del calore residuo di formazione del pianeta erano sicuramente più alti

Astronomia Osservativa C, SP 1, Vladilo (2011)

12

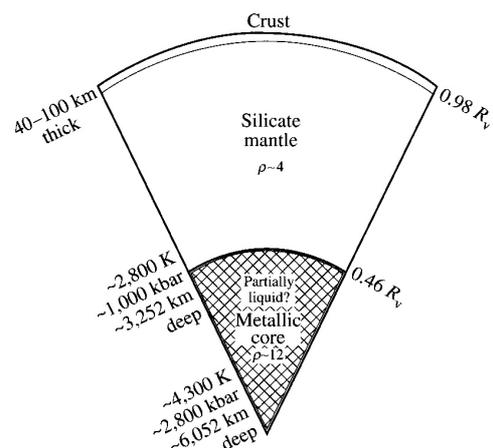
Struttura interna di Mercurio

- **Alta densità**
 - $\rho = 5.4 \text{ g cm}^{-3}$
 - Indica la presenza di un core metallico esteso (~3/4 del raggio)
 - Mantello di silicati sottile
- **Campo magnetico relativamente intenso** (~1% di quello terrestre)
 - Scoperto dalla sonda Mariner (1974)
 - Evidenza di core metallico ancora fuso
 - Risultato inaspettato in quanto il core metallico di un pianeta così piccolo dovrebbe essersi raffreddato rapidamente



Struttura interna di Venere e Marte

- **Venere**
 - Si ritiene abbia una struttura interna simile a quella terrestre
 - La crosta sembra però essere molto più spessa e rigida
 - Rende impossibili i movimenti tettonici
- **Marte**
 - Viene anche modellato con una struttura core ferroso + mantello di silicati
 - Nella crosta non c'è evidenza di movimenti tettonici, neppure nel passato
 - I modelli del mantello usano come riferimento la composizione chimica di meteoriti SNC
 - Sulla base della composizione isotopica si ritiene che i meteoriti SNC siano di origine marziana
 - Espulsi dal mantello a seguito di collisioni di corpi minori sulla superficie di Marte, anche grazie alla bassa velocità di fuga di Marte



Modello di struttura interna di Venere
Fegley (2005)

Origine dei campi magnetici planetari

- Si ritiene che i campi magnetici siano prodotti mediante il meccanismo dinamo
 - Convezione di materiale fluido in strati interni planetari di grande estensione radiale
 - La convezione è accoppiata alla rotazione (forze di Coriolis)
 - Il materiale fluido è conduttivo
Meccanismo difficile da modellare
- Esistono anche campi magnetici indotti
 - Interni di materiale conduttivo sotto l'influenza di campi magnetici esterni

- **Evidenza empirica di effetto dinamo**

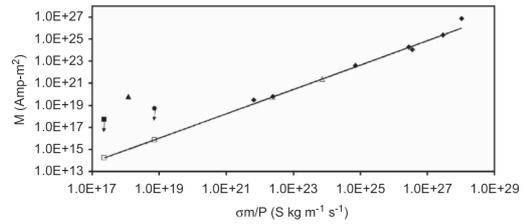
- In letteratura vengono proposte varie semplici relazioni tra proprietà fisiche dei pianeti e il loro momento di dipolo magnetico, M
- Esempio di formula recente che fitta molto bene i pianeti del Sistema Solare e che è in accordo con principi fisici generali

Durand-Manterola (2009)

σ : conduttività

m : massa del pianeta

P : periodo di rotazione



$$M \propto \frac{\sigma m}{P}$$