

RISONANZE NEL SISTEMA SOLARE (legge della meccanica del sistema a più corpi)

- - SPIN-ORBIT = risonanze di spin (es: Terra - Luna) : collegano le caratteristiche del moto rotazionale a quelle del moto orbitale per uno stesso oggetto.
- ORBIT-ORBIT = risonanze orbitali : collegano le caratteristiche rotazionali con quelle orbitali per due oggetti diversi
 - - RISONANZE SECONDARI (periodi di precessione)
 - RISONANZE DI MOTO MEDIO (periodi orbitali)

RISONANZE DI SPIN → poche, riguardano Mercurio e quasi tutti i satelliti maggiori

⇒ sono commensurabili i periodi di rotazione e rivoluzione

Eg. Mercurio $t=2$ $T=3$ → mentre fa 2 rotazioni complete 3 rivoluzioni
Luna $t=1$ $T=1$ → rotazione sincrona (stesso periodo)

RISONANZE ORBITALI → sono stati in cui si è raggiunto l'energia minima e riguardano uno coppia di pianeti o un multipletto

⇒ ogni volta che una combinazione di elementi orbitali caratteristica di una coppia di oggetti o più oggetti libri sfiora ad un valore quasi costante

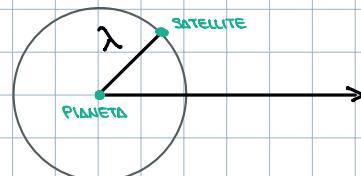
Considero una coppia di satelliti e due elementi orbitali come la longitudine media λ_1 e λ_2

Quando una generica combinazione delle due longitudini $a\lambda_1 + b\lambda_2$, con a e b numeri interi, libri (avendo non può assumere tutti i valori ma può solamente oscillare in un range ristretto) ⇒ stato risonante

→ **LONGITUDINE MEDIA**

sia $n = 2\pi / T$ la velocità angolare media
o moto medio

λ fornisce la posizione del satellite rispetto
ad una certa direzione → $\lambda = \int_0^t \omega dt$



→ riguardo soprattutto i satelliti ma si ha anche risonanza orbitale tra Nettuno e Plutone ⇒ λ_8 Nettuno, λ_9 Plutone $2\lambda_8 - 3\lambda_9 \approx$ costi avendo libri

sfiorano ad un valore quasi costante

Derivando si trova $2n_8 - 3n_9 = 0$ avendo

$$\frac{T_8}{T_9} = \frac{2}{3} \rightarrow$$

quello che si trova confrontando i periodi.
cioè $164.8 / 267.7$

→ permette ai due corpi di non collidere sebbene le loro orbite si incrocino

Esiste uno stato di quasi-risonanza orbitale tra Terra (λ_3), Marte (λ_4) e Giove (λ_5) del tipo $3n_5 - 8n_4 + 4n_3 \approx 0$

RISONANZE SECOLARI

→ due corpi sono in risonanza secolare quando hanno sincronizzate le loro precessioni del perielio o le precessioni del nodo ascendente o entrambe



- risonanza secolare lineare: tra un corpo e uno più grande
- risonanza secolare non lineare: quando riguarda più di un solo grande corpo

MERCURIO

- più piccolo tra i pianeti interni. Geologicamente morto nonostante sia stato misurato un debole campo magnetico
- rotazione molto lenta, esattamente $2\frac{1}{3}$ del periodo
 $P_{\text{rot}} = 87.9$ giorni } risonanza spin-orbita
 $P_{\text{rot}} = 58.6$ giorni
- orbita molti ellittica e inclinata
- Temperatura giorno = 472°C , Temperatura notte = -173°C dato che l'asse di rotazione non è inclinato i crateri vicino ai poli non ricevono mai luce solare => molti freddi
- atmosfera molto tenue (H, He, O_2), no solari
- superficie prevalentemente di roccia basaltica e anortiti + regolite
- difficile a studiare da Terra perché morto vicino al Sole
- asse di rotazione 1 al piano orbitale = no stazioni opposte
- T all'equatore varia con la distanza dal Sole

Riassunto Caratteristiche del pianeta

Massa: $3.3 \times 10^{23} \text{ kg} = 0.055$ masse terrestri

Raggio: 2439 km = 0.383 raggi terrestri

Densità: 5.43 g/cm^3

Velocità di fuga: 4.2 Km/sec

Albedo: 0.106

Magnitudine apparente: da 1 a -2

Parametri orbitali

Periodo Orbitale: 87.969 giorni

Periodi di rotazione: 58.646 giorni

Distanza media dal Sole: $5.7909 \times 10^7 \text{ km}$
 $(= 0.3870989 \text{ AU})$

Velocità orbitale media: 47.9 km/s

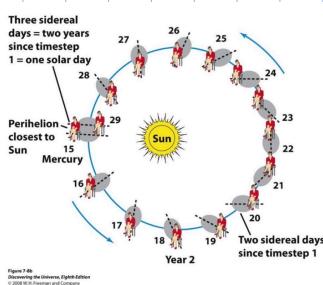
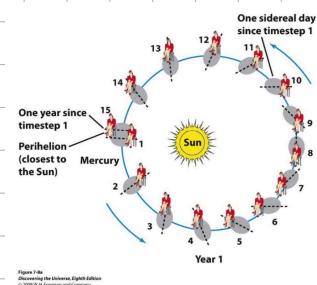
Inclinazione orbitale: 7.00487°

Eccentricità dell'orbita: 0.20563

ATMOSFERA

pianeta morto piccolo e caldo, le particelle di gas tendono a superare la velocità di fuga => particelle probabilmente espulse dalle radice continuamente bombardate

ROTAZIONE DI MERCURIO



→ dal momento che Mercurio è morto vicino al Sole le forze morenali lo hanno portato ad una risonanza di spin-orbita 2/3

=> un qualsiasi punto sulla sua superficie restò esposto al sole salvo per 176 giorni terrestri

PRECESSIONE DEL PERIELIO

→ il perielio di Mercurio precessa con una velocità di 57,6''/secolo

$$574''/\text{secolo} = 278''/\text{sec}(\text{Venero}) + 153''/\text{sec}(\text{Giove}) + 90''/\text{sec}(\text{Terra}) + 10''/\text{sec}(\text{Orto})$$

$$\Rightarrow \omega_N = 531''/\text{sec} \rightarrow \text{mancano } 43''/\text{sec}$$

Secondo lo **relativismo generale** cioè considerando la **distorzione dello spazio-tempo** prodotto dalla gravità sarebbe la correzione da applicare alla velocità di precessione vale

$$\omega_{RG} = \frac{GM_HO}{Ra(1-e^2)c^2}$$

per Mercurio

$$P = 0.24 \text{ g} = 7.57 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$a = 0.3871 \text{ AU} = 5.8 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$e = 0.206$$

$$\Rightarrow \text{da cui si ottiene } \omega_{RG} = 43''/\text{secolo}$$

MERCURIO VISTO DALLA TERRA

→ difficile osservazione perché molto vicino al Sole

quindi coperto dalla sua luce

→ presenta numerosi crateri più grandi di quelli della Luna e di Marte ("bacini") perché essendo più vicino al Sole i meteoriti sono accelerati maggiormente

COMPOSIZIONE INTERNA

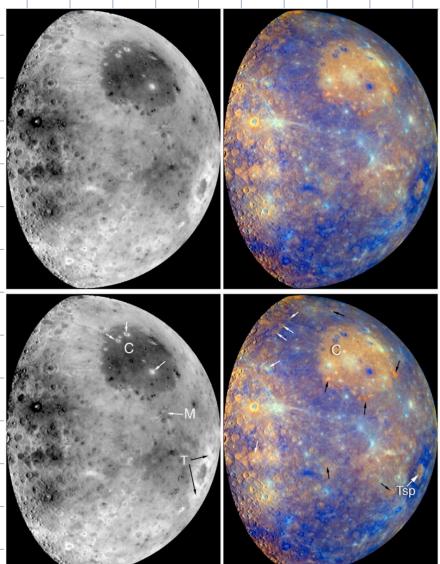
→ grande core metallico, densità simile a quella terrestre ma $\frac{1}{3}$ delle sue dimensioni
core $\approx 75\%$ del raggio e piuttosto freddo + sottile strato di Fe-Ni liquido

core molto grande → ipotesi =

- differenziazione durante la formazione del SG
- "giovane" Mercurio era più grande ma gli impatti hanno rimosso parte del mantello

MISSIONI SU MERCURIO

- MARINER 10 = flyby, trovò campo magnetico e mappa il 45% della superficie
- MESSENGER = orbita attorno al pianeta mappando il 100% della superficie
- BEPI COLOMBO = ESA + JAXA, divisa in due orbiter di cui uno del pianeta e l'altro della magnetosfera



→ immagini di Messenger multi-spettro per studiare le variazioni della **composizione** sulla superficie

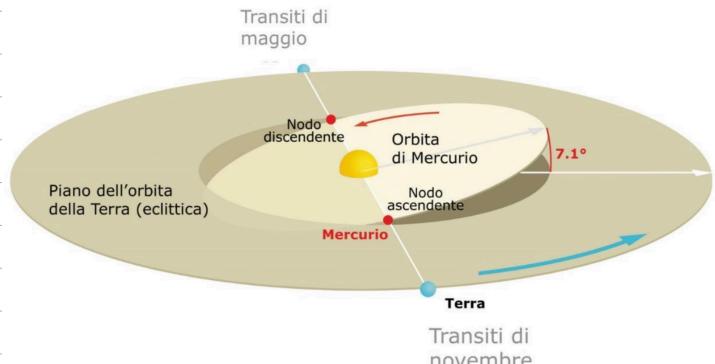
frecce bianche = aree grigie con pochi crateri
frecce nere = vulcani

⇒ differenze di colori indicano variazioni nella composizione mineralogica della superficie

TRANSITI DI MERCURIO → più frequenti del transito di Venere perché periodo orbitale minore ma più difficile da osservare

se le orbite fossero coplanari si avrebbe un Transito ad ogni congiunzione inferiore

orbita inclinata di $\approx 7^\circ$
→ deve trovarsi in prossimità dei nodi



Al nodo descendente (transiti di maggio) si trova all'opposto
→ velocità minima, transito ha durata maggiore ma diametro apparente minore

Conjuncioni Transito → - congiunzione inferiore: 116 gg (periodo sinodico)
- passaggio ai nodi
→ Transiti di novembre ogni 7, 13, 33 gg
Transiti di maggio ogni 13, 33, 46 gg

Utilizzo dei transiti → - comprendere la teoria copernicana
- misurare la distanza media Terra - Sole
- stimare il diametro del Sole
- studiare atmosfera di Mercurio
- individuare esopianeti in sistemi diversi dal nostro

VENERE → - $R_V \sim R_\oplus$, $M_V \sim M_\oplus$, probabilmente geologicamente attiva
- completamente coperto di nubate, albedo molto alta $\approx 75\%$
- estremamente temperature a causa dell'effetto serra ($\approx 475^\circ C$)
- pressione ≈ 100 volte superiore a quella terrestre
- periodo di rotazione di 243 gg, ruota in senso retrogrado
- no campo magnetico, no satelliti
- periodo di rivoluzIONE 224.7 gg
- superficie di rocce basaltiche

visibile all'alba o al tramonto → $m = -4.8$ al massimo del suo splendore
a causa dell'alta albedo

orbita quasi circolare ($e = 0.007$) e inclinazione orbitale $i = 3^\circ, 4$

SUPERFICIE DI VENERE → principalmente basalto, le mappature radar evidenziano due "continenti", molti vulcani e pochi crateri da impatto

può essere suddivisa in tre regioni:

- Terre basse da -4000 m a 0 m (30%)
- pianure ondulate da 0 a 2000 m (65%)
- Terre alte da 2000 m a 10700 m (5%) → concentrate in due regioni

La superficie di Venere è relativamente giovane con vaste regioni ricoperte da lava e regioni montuose + possibili scavi vulcanici. I fenomeni vulcanici si verificano con flussi di lava senza esplosioni a causa della forte pressione atmosferica

→ strutture vulcaniche distribuite uniformemente sulla superficie quindi non sono in atto movimenti crostali di estensione o abduzione (= no tectonica o placche)

Internamente si suppone che abbia uno struttura simile a quella della Terra

TRANSITO DI VENERE → fenomeno molto raro che avviene con un ciclo stabile di 243 anni e che si divide in termini periodici di 105.5 e 121.5 anni

[MISSIONI VEDI SLIDE]

TERRA → - abbastanza grande da mantenere un nucleo caldo (vulcani, terremoti, tettonica o placche)
 - mite aspetto terra ⇒ H_2O liquido
 - erosione ha eliminato i crateri da impatto
 - campo magnetico dovuto ad una veloce rotazione e ad un interno scottante
 - 1 satellite: luna

Caratteristiche → $M_\oplus = 5.976 \cdot 10^{27} g$
 $R_\oplus = 6371 km$
 $\rho = 5.515 g/cm^3$
 $g = 980 cm/s^2$
 $S_\oplus = 11.2 km/s$
 albedo = 0.367

$P_{\text{rot}} = 23.94 h$

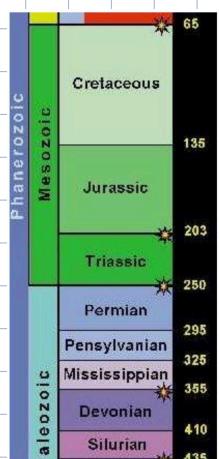
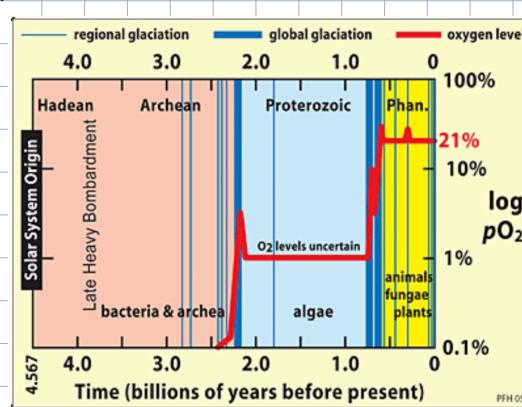
$P_{\text{rw}} = 365.26 d$

superficie = rocce basaltiche e granitiche

SCALA DEI TEMPI GEOLOGICI → suddiviso in eoni, ere, periodi ed epoche

- eone Adattico (più o 3.8 Gyr) → passi di formazione, T artissime
- eone Archetico (3.8 - 2.5 Gyr)
- eone Proterozoico (2.5 Gyr - 542 Myr)
- eone Fonerozoico (542 Myr - ora) →
 - era paleozoica (542 - 251 Myr)
 - era mesozoica (251 - 65 Myr)
 - era cenozoica (65 Myr - ora)

La Terra ha alternato periodi caldi e freddi: le **glaciazioni**. Queste, iniziato circa 2.2 Gyr fa sono culminate fra 710 e 580 Myr fa in 3 periodi di glaciazione. Vi sono inoltre state 5 grandi estinzioni (*)



[ALTRI DETTAGLI VEDI SLIDE]