

# Introduzione allo studio del Sistema Solare

## III parte

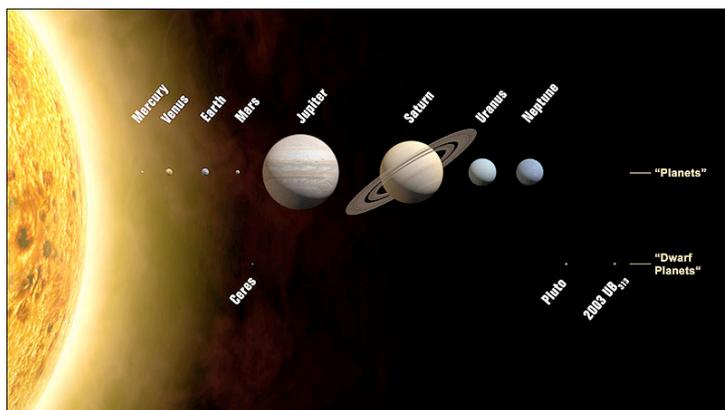
Lezione SP 3  
G. Vladilo

Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

1

## Pianeti giganti

- Pianeti giganti gassosi
  - Giove, Saturno  
 $\langle \rho \rangle \sim 0.7 - 1.3 \text{ g cm}^{-3}$  ;  $d \sim 5 - 10 \text{ AU}$  ;  $R \sim 9 - 11 R_{\text{terra}}$
- Pianeti giganti ghiacciati
  - Urano, Nettuno  
 $\langle \rho \rangle \sim 1.3 - 1.6 \text{ g cm}^{-3}$  ;  $d \sim 20 - 30 \text{ AU}$  ;  $R \sim 4 R_{\text{terra}}$



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

2

# Pianeti giganti

- **Composizione chimica dei pianeti giganti**
  - Principalmente idrogeno ed elio
    - Vincoli dagli studi della loro densità media
    - Evidenze osservative dirette di idrogeno molecolare negli strati esterni
  - Presenza di molecole
    - Oltre ad  $H_2$ , le più abbondanti osservate sono  $CH_4$  e  $NH_3$
  - Elementi pesanti
    - Generalmente arricchiti di “metalli” rispetto alla composizione chimica solare

# Pianeti giganti

Allen (2000)

- **Temperatura effettiva**
  - Valori bassi rispetto ai pianeti terrestri
    - Al di sotto del valore di condensazione dei ghiacci
- **Albedo**
  - Valori relativamente alti
    - Strati atmosferici esterni notevolmente riflettenti

Pianeta	Temperatura effettiva [K]
Terra	255
Giove	124
Saturno	95
Urano	59
Nettuno	59

Pianeta	Albedo nel <u>visibile</u>
Terra	0.38
Giove	0.52
Saturno	0.47
Urano	0.51
Nettuno	0.41

# Pianeti giganti

Allen (2000)

- **Atmosfere**

- I pianeti giganti hanno le velocità di fuga maggiori di tutti i pianeti del Sistema Solare
- Non sorprende il fatto che abbiano atmosfere estese
- Le osservazioni riescono a penetrare solo gli strati più esterni

Pianeta roccioso	Pressione atmosferica superficiale [bar]	Altezza di scala H [km]
Terra	1	8
Pianeta gigante	Pressione atmosferica al livello della superficie visibile delle nubi [bar]	Altezza di scala H [km]
Giove	~ 0.3	19-25
Saturno	~ 0.4	35-50
Urano	...	22-29
Nettuno	...	18-22

## Campi magnetici dei pianeti giganti

Russel & Dougherty 2010

- **Generalmente intensi**

- Indicativi di un forte meccanismo dinamico in azione
- Riportiamo i valori di momento di dipolo magnetico per i pianeti giganti

- **Giove**

- 1.55x10<sup>20</sup> T m<sup>3</sup>
- ~2x10<sup>4</sup> volte il valore terrestre
- Tilt ~ 10° con asse rotazione

- **Saturno**

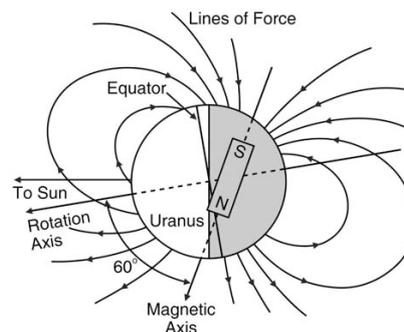
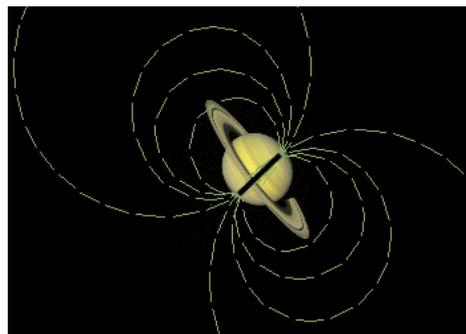
- ~600 volte il valore terrestre
- Tilt ~ 1° con asse rotazione

- **Urano**

- ~50 volte il valore terrestre
- Tilt ~ 98° con asse rotazione

- **Nettuno**

- ~25 volte il valore terrestre
- Tilt ~ 47° con asse rotazione



## Struttura interna dei pianeti giganti

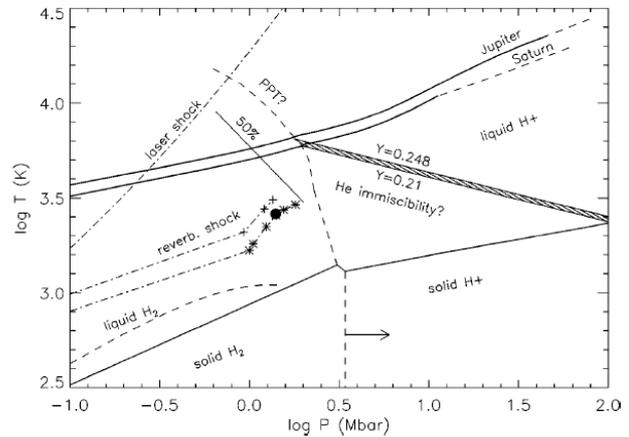
- Vincoli sui modelli di interni di pianeti giganti

- Diagramma di fase dell'idrogeno

Strumento diagnostico fondamentale

Esistono ancora incertezze teoriche e sperimentali riguardo al diagramma di fase dell'idrogeno

Si ripercuotono sulla nostra capacità di modellare gli interni dei pianeti giganti



**Figure 1** The phase diagram of hydrogen, showing regions of stability of liquid and solid molecular hydrogen ( $H_2$ ), and of liquid and solid metallic (pressure-ionized) hydrogen ( $H^+$ ). Also shown are trajectories of experimental shock-compression experiments (dashed-dot lines) and trajectories of the interiors of Jupiter and Saturn at the present epoch (heavy solid lines). See text for discussion of further details of this figure.

## Interni dei giganti gassosi

- Giove e Saturno

- Principali fasi

- Idrogeno molecolare  $H_2$  in fase liquida

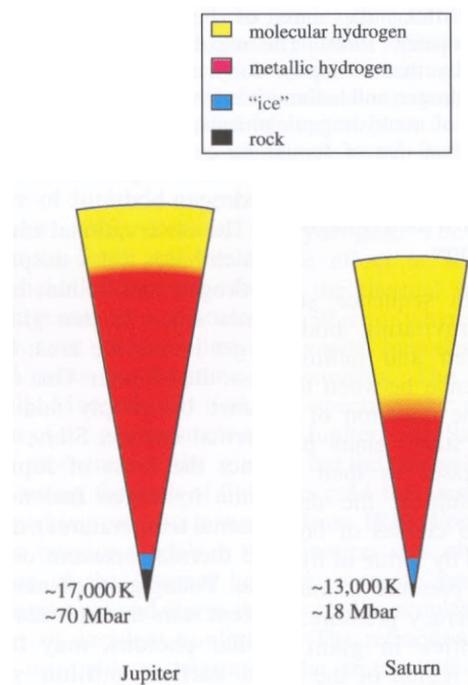
Si trova nelle parti esterne

- Idrogeno metallico  $H^+$  in fase liquida

Ionizzato dalla pressione

Si trova a maggior profondità

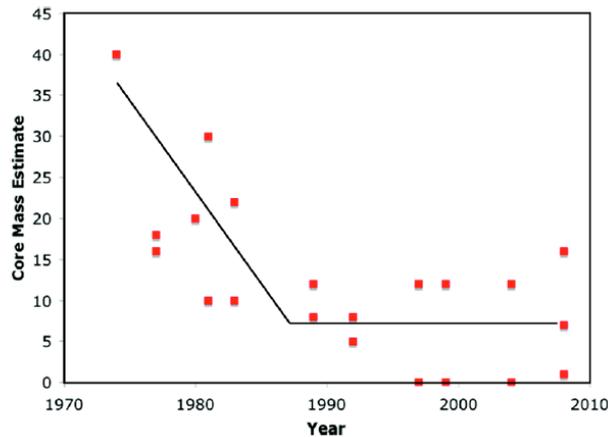
Probabilmente la fase di idrogeno metallico ionizzato è gioca un ruolo fondamentale nella generazione dei forti campi magnetici dei giganti gassosi



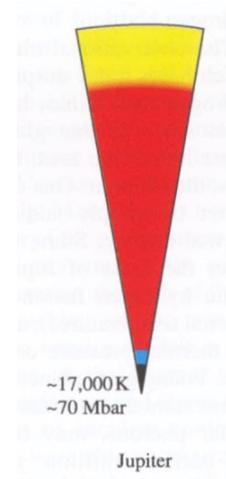
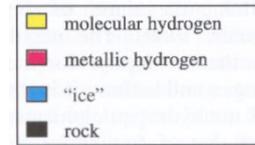
## Interni dei giganti gassosi

- **Giove**
- **Esistenza di un core roccioso**

Sembra confermato ( $M_{\text{core}} \sim 12 M_{\text{terra}}$ ) dopo lungo dibattito in letteratura



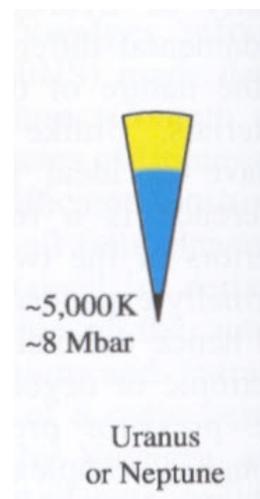
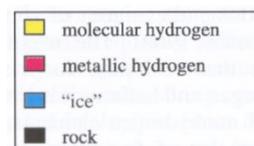
Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)



9

## Pianeti “giganti ghiacciati”

- **Nettuno**
  - Strato esterno ricco di idrogeno molecolare  
Occupa circa 20% del raggio del pianeta
  - Strati interni di ghiaccio e roccia  
Parte della roccia potrebbe essere separata in un core
- **Urano**
  - Struttura molto simile  
Forse più condensato centralmente
- **Prototipi di “giganti ghiacciati” negli studi di esopianeti**



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

10

## Satelliti

- **Cenni introduttivi sui principali satelliti del Sistema Solare**
  - Esistono 168 satelliti che orbitano 6 degli 8 pianeti
  - La stragrande maggioranza orbita i pianeti giganti



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

11

## La Luna

- **Tra i pianeti rocciosi, solo la Terra ha un satellite di massa e dimensioni significative**
  - La Luna ha una massa  $\sim 0.012 M_{\text{Terra}}$  e raggio  $\sim 0.27 R_{\text{Terra}}$ 
    - Mercurio e Venere non hanno satelliti
    - Marte ha due satelliti di massa e raggio trascurabili rispetto a  $M_{\text{Marte}}$  e  $R_{\text{Marte}}$
  - L'esistenza di un satellite di dimensioni significative è un'ulteriore particolarità della Terra rispetto agli altri pianeti rocciosi



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

12

# La Luna

## • Confronto con la Terra

- La Luna non ha un'idrosfera, nè un'atmosfera significativa

Densità media:  $\rho_{Luna} = 3.341 \text{ g cm}^{-3} < \rho_{Terra} = 5.515 \text{ g cm}^{-3}$

- La composizione chimica superficiale della Luna è impoverita, rispetto a quella della Terra, di materiali volatili

$N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$  ed altri elementi o composti volatili

- Nonostante tali differenze, i rapporti isotopici di ossigeno sono uguali a quelli terrestri

Mentre l'analisi degli isotopi dell'ossigeno nei meteoriti rivela che il sistema solare interno era isotopicamente eterogeneo

- Il fatto che Luna e Terra abbiano gli stessi rapporti isotopici indica un'origine alla stessa distanza dal Sole, dallo stesso materiale.

Argomento a favore di un origine comune della Terra e della Luna

Terra e Luna si sarebbero differenziate nelle fasi successive all'epoca della loro formazione

# La Luna

- La piccola dimensione della Luna ha fatto sì che il suo sorgenti di calore interno decadessero rapidamente dopo la sua formazione, e pertanto decadesse anche l'attività geologica

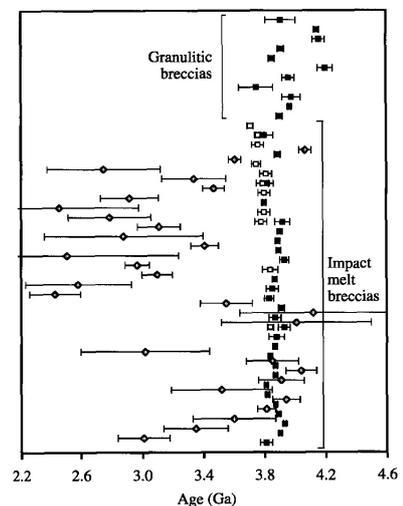
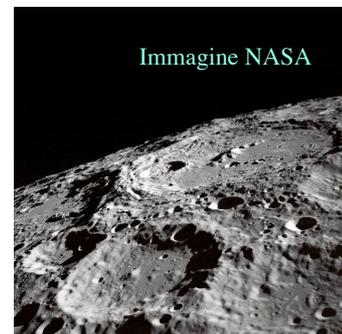
- In assenza di atmosfera e di attività geologica, la superficie lunare preserva le caratteristiche acquisite nelle prime fasi successive alla sua formazione

- La superficie è dominata da crateri di impatto collisionale

- Tali crateri ci offrono un record della storia di collisioni con corpi minori del Sistema Solare all'epoca e posizione in cui si è formata la Terra

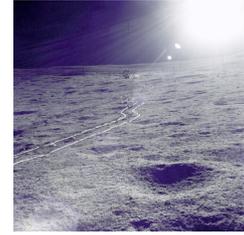
I crateri possono essere datati accuratamente e ci permettono di datare la storia di impatti sulla Terra, impossibile da rintracciare sul nostro pianeta a causa del continuo processamento della superficie terrestre da parte di processi atmosferici e tettonici

- Esiste un picco nella frequenza di impatti attorno a circa  $\sim 3.9$  miliardi di anni fa



# La Luna

- Lo strato più superficiale della Luna ci offre un esempio di processi di alterazione
  - Dovuti all'esposizione al vento solare, ai raggi cosmici e al bombardamento di micrometeoriti
    - Mancanza di protezione della superficie da parte di un'atmosfera e di un campo magnetico
- Come risultato di tali tipi di processamento lo strato superficiale, chiamato regolite, è fine e poroso
  - Ha uno spessore di pochi metri al di sopra della roccia solida
    - Il termine regolite si usa anche negli studi di geologia terrestre, da cui proviene



## Satelliti dei pianeti giganti

- I pianeti giganti hanno un notevole numero di satelliti
  - Attualmente se ne contano almeno 165
- Concentriamo la nostra attenzione su alcuni satelliti regolari
  - Caratteristiche che definiscono i satelliti regolari
    - Orbite di bassa eccentricità rispetto al proprio pianeta e approssimativamente coplanari con l'equatore del pianeta
  - Tali caratteristiche indicano un'origine comune dei satelliti regolari e del pianeta
    - Piuttosto che una cattura accidentale di un corpo minore formatosi altrove
- **Principali satelliti dei pianeti giganti**  
(daremo brevi cenni su quelli sottolineati)
  - Giove
    - Io, Europa, Ganimede, Callisto, Amaltea
  - Saturno
    - Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Titan, Hyperion
  - Urano
    - Ariel, Umbriel, Titania, Oberon
  - Nettuno
    - Triton, Nereid, Proteus

## Satelliti di Giove

- I principali sono i satelliti Galileiani
  - scoperti da Galileo nel 1610
- Oggetto di studi di sonde spaziali
  - In particolare le sonde Voyager e Galileo



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

17

## Satelliti di Giove

### Io

A. Coradini (2010)

- Caratterizzato da un'attività vulcanica particolarmente intensa
  - Chiare evidenze di variabilità
  - Attività presumibilmente indotta dalle forti interazioni mareali e magnetiche con Giove
  - I composti volatili (tra cui  $H_2O$  e  $CO_2$ ) persi molto tempo fa a causa del continuo riciclare verso la superficie dovuto all'attività geologica
- Interno
  - Fuso e differenziato



Galileo images of overlapping deposits at Pillan and Pele



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

18

## Satelliti di Giove

# Europa

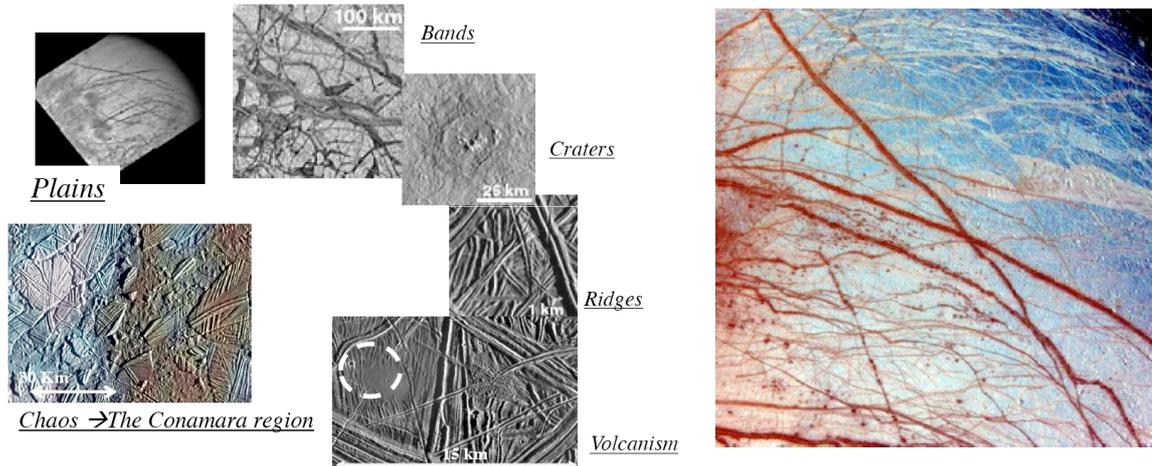
A. Coradini (2010)

- **Caratterizzato da una superficie di ghiaccio H<sub>2</sub>O**

- Da misure di gravimetria risulta che lo spessore dello strato di ghiaccio potrebbe essere di varie decine di chilometri

La superficie presenta una varietà di strutture (immagine composta sinistra)

Sulla superficie si trovano composti “contaminanti” del ghiaccio (sali?) che sembrano avere un’origine endogena (immagine a destra)



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

19

## Satelliti di Giove

# Europa

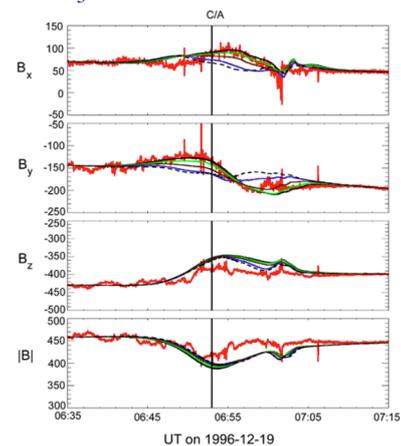
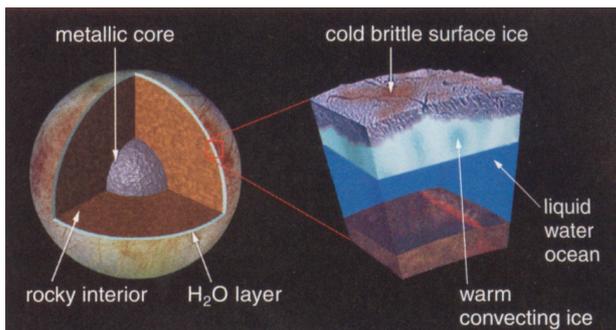
- **Struttura interna di Europa**

- Si ritiene abbia un core metallico circondato da un mantello roccioso
- Esternamente, sotto lo strato di ghiaccio, sembra esserci un oceano di acqua

L’evidenza di un oceano è indiretta: misure magnetometriche indicano la presenza di un composto con caratteristiche di conduttività tipiche di un oceano con sale

MgSO<sub>4</sub> fitta meglio i dati rispetto a NaCl

Per mantenere l’oceano serve una fonte di riscaldamento interno, presumibilmente di tipo mareale, e la compresenza di composti volatili, quale NH<sub>3</sub>

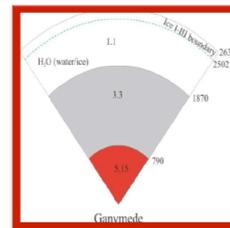
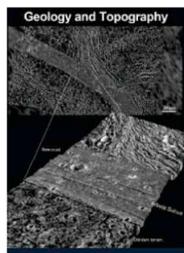
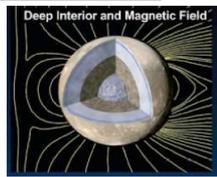
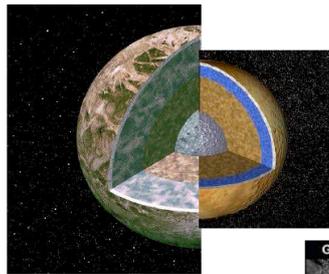


Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

20

## Satelliti di Giove Ganimede

- **Caratterizzato dalla presenza di un campo magnetico**
  - Le misure ottenute con il magnetometro sono spiegabili con la presenza di uno strato liquido
    - I dati di densità e gravità suggeriscono la presenza di un core di Fe liquido, responsabile dell'effetto dinamo generatore del campo magnetico
  - Unico satellite con meccanismo dinamo
    - Europa e Callisto hanno campi magnetici indotti



- Liquid layer proposed to explain magnetometer data.
- Density and gravity data suggest the possible presence of a liquid iron core, where the dynamo is generated

Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

21

## Satelliti di Saturno Titano

Il maggiore dei satelliti regolari di Saturno

- **Unico satellite con un'atmosfera significativa**
  - Pressione superficiale maggiore di quella della Terra ( $P=1.5$  bar)
    - A destra, immagine ottenuta dalla sonda Voyager nella banda visibile
- **Fattori che hanno reso possibile l'esistenza dell'atmosfera di Titano**
  - Velocità di fuga non troppo bassa ( $v_{esc}=2.65$  km/s)
  - Temperatura superficiale ( $T=94$  K) sufficientemente bassa
    - Tale temperatura è comunque abbastanza alta da non far ghiacciare i composti volatili che la caratterizzano



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

22

## Satelliti di Saturno Titano

- **Composizione chimica dell'atmosfera di Titano**

- Principale costituente  $N_2$ , come nella Terra

- Ma priva di  $O_2$

- Ricca di composti organici, principalmente metano  $CH_4$

- Anche altri idrocarburi, come l'etano  $C_2H_6$

- Nella parte alta dell'atmosfera è presente uno strato di foschia ("haze") di composti chiamati "tholins"

- Molecole organiche ricche di azoto ottenute a partire dalla fotodissociazione di  $CH_4$ , di colore marron-rossastro

- In figura: immagine a falsi colori ottenuta dalla sonda Cassini che evidenzia lo strato di foschia ("haze")

	Titan	Earth
$N_2$	82-99 %	78%
$CH_4$	2-10 %	2 ppm
$O_2$	-	21%
$CO_2$	0.01 ppm	350 ppm
Ar	< 1-6 % ?	0.9%

