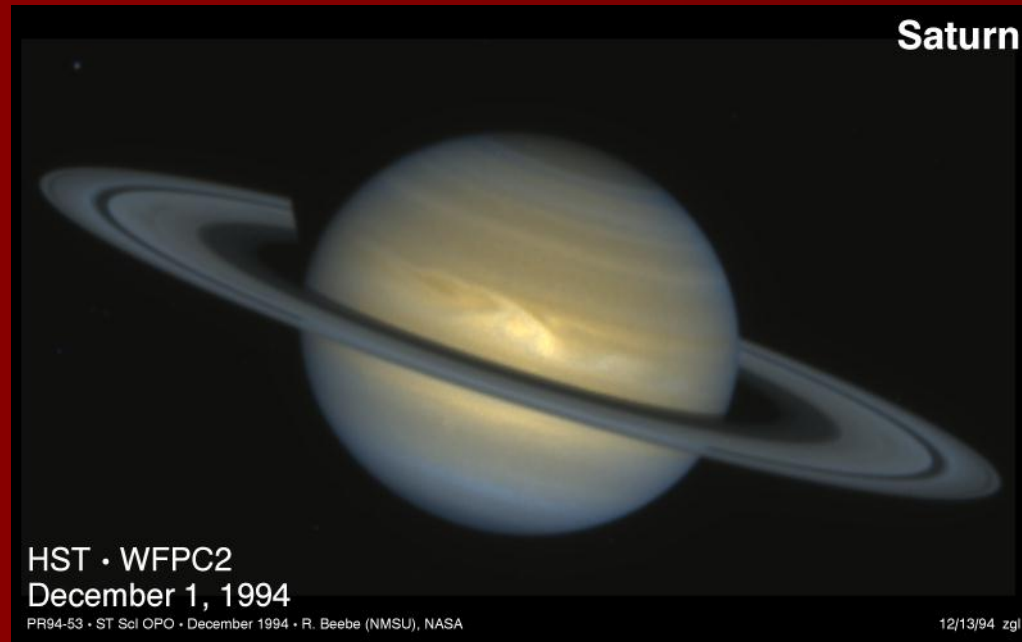


Le tempeste di Saturno



Analisi meteodinamica dei cambi stagionali

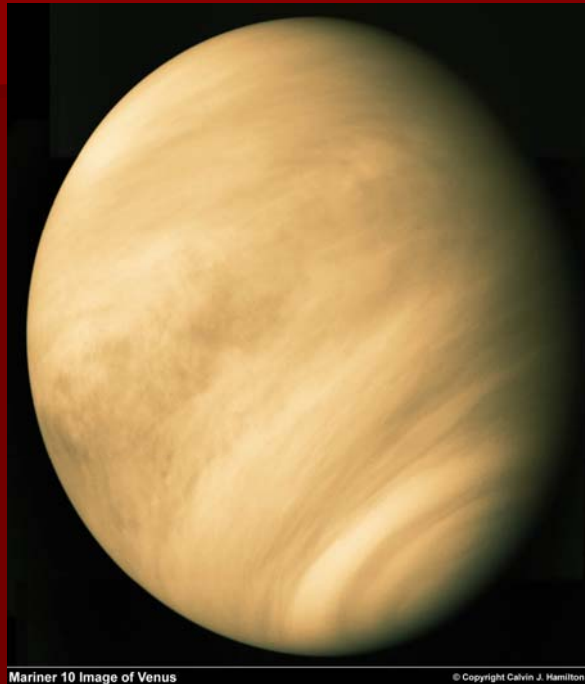
Tipologie planetarie

- Nel nostro sistema solare distinguiamo due tipologie di pianeti:
 - (1) pianeti di tipo terrestre
 - (2) pianeti di tipo gassoso

Pianeti di tipo terrestre

- I pianeti di tipo terrestre sono quei pianeti di piccole dimensioni caratterizzate da un **alta densità specifica**
- Hanno comportamento **rigido**
- Possiedono una **superficie solida**
- Possono essere forniti di un **atmosfera**

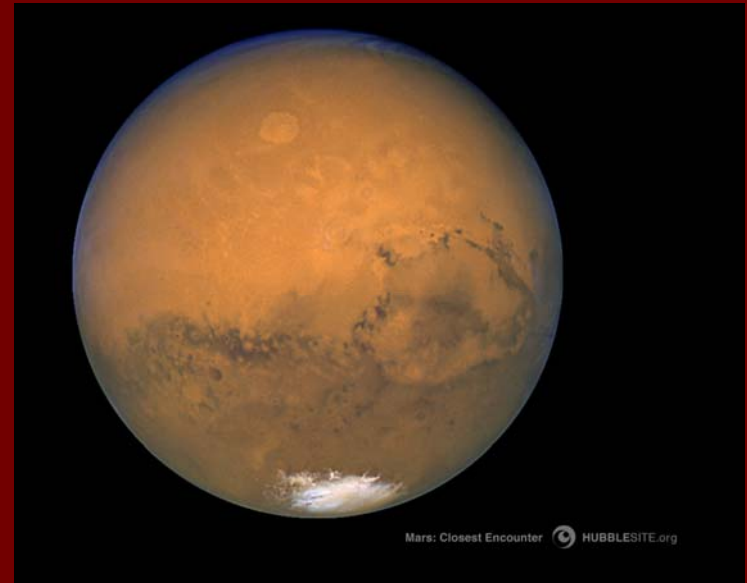
Esempi



Venere



Mercurio

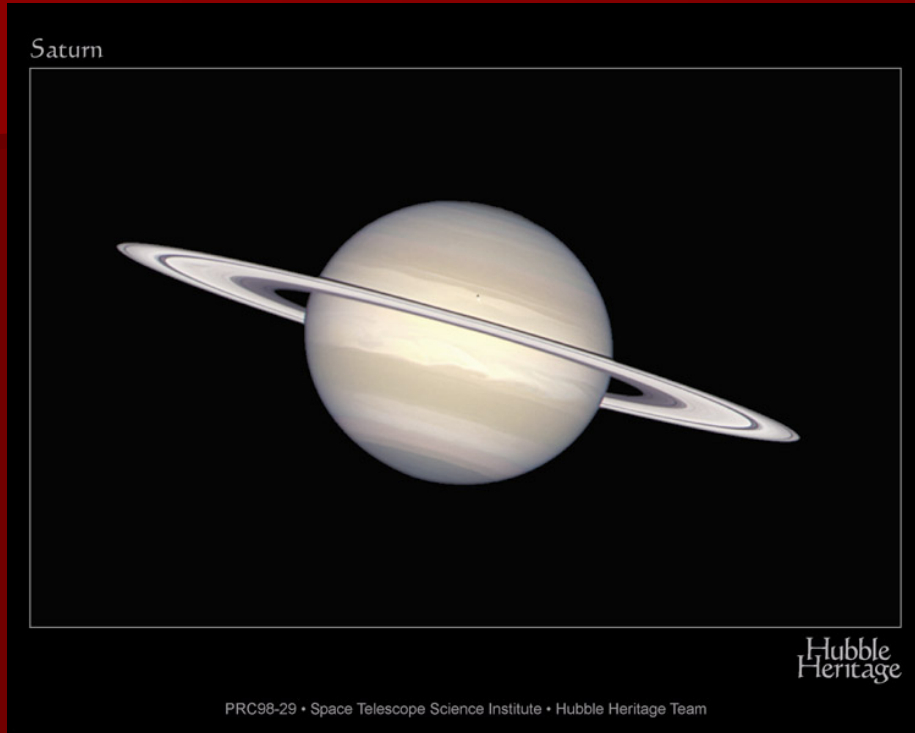


Marte

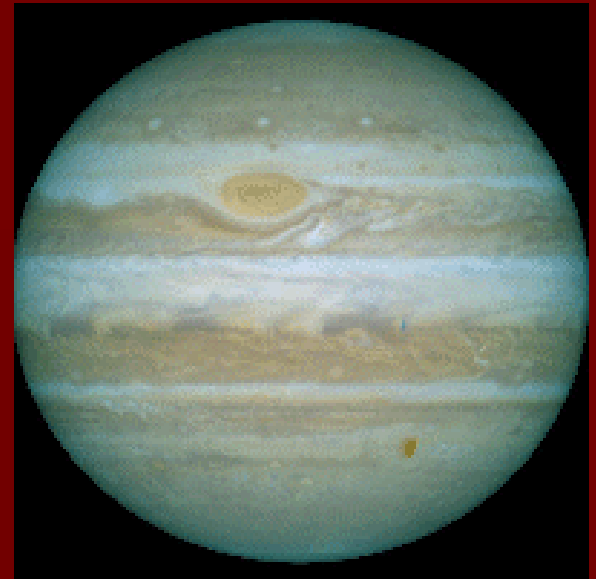
Pianeti di tipo gassoso

- I pianeti di tipo gassoso sono quei pianeti di grandi dimensioni **bassa densità specifica**
- **Non** hanno comportamento **rigido**
- **Non** possiedono una superficie **solida**
- Sono tutti forniti di atmosfera

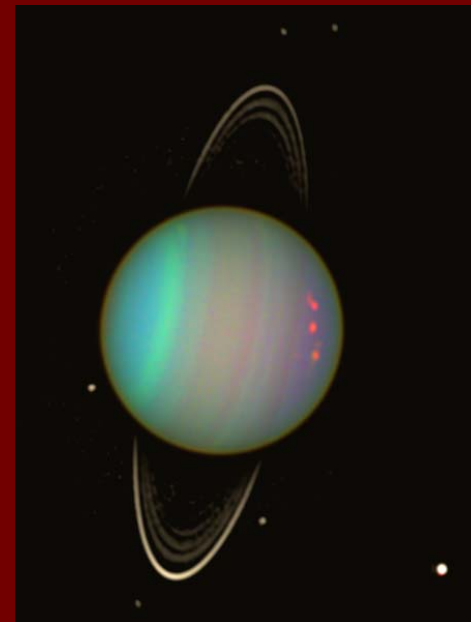
Esempi



Saturno



Giove



Urano

- I pianeti gassosi nel nostro sistema si trovano al di là della fascia degli asteroidi
- Il più vicino al Sole è *Giove*, il più lontano è *Nettuno*
- **Saturno** è il 6° pianeta in ordine di distanza dal Sole

Saturno: in generale

- Saturno è il **secondo pianeta** per dimensioni dopo Giove
- E' l'unico provvisto di **anelli** molto densi
- È il pianeta che possiede **più lune** tanto che è possibile considerarlo un piccolo sistema solare in miniatura

La composizione

- Così come il fratello Giove, Saturno ha una composizione prevalente di Idrogeno ed Elio
- Questi elementi sono poco presenti in superficie ma si trovano al disotto delle cappe nuvolose
- In superficie troviamo nubi di metano, zolfo, idrocarburi, vapore acqueo....

La struttura interna

Dell'interno del pianeta abbiamo solo prove indirette (calcoli teorici), basate su due fattori:

- Calcolo della densità media globale
- Comportamento termodinamico dell'idrogeno ed elio

Densità media globale

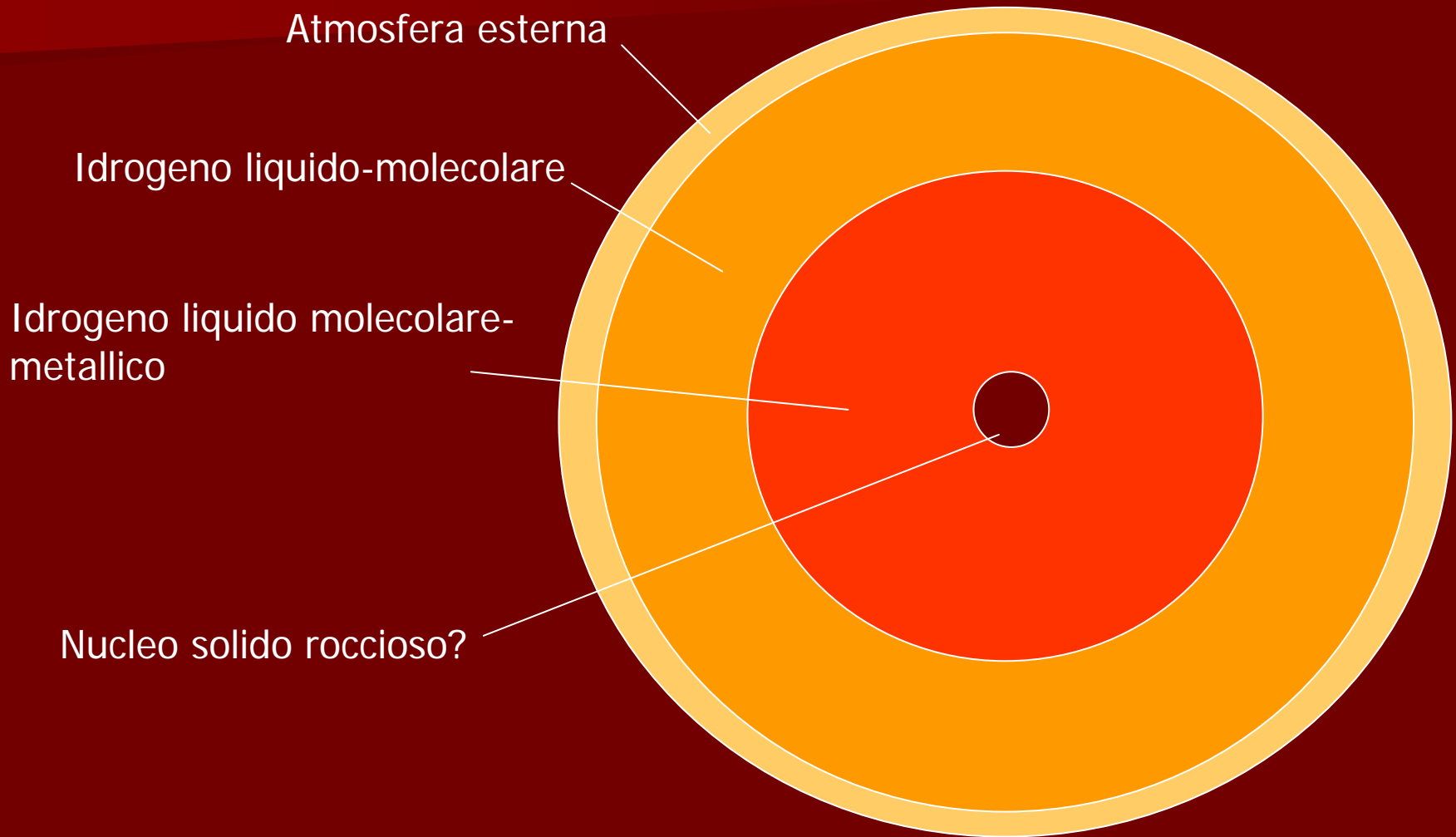
- La densità media globale è dell'ordine di $0,69 \text{ gm/cm}^3$
- Decisamente inferiore a quella dell'acqua, quindi Saturno, in massima parte è costituito da elementi molto leggeri

Idrogeno ed Elio

Comportamento termodinamico dell'idrogeno

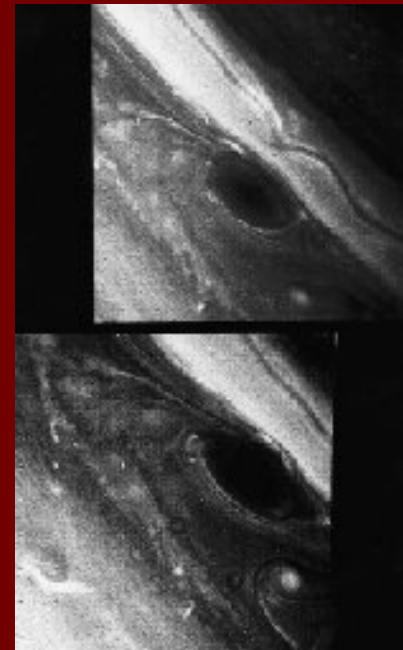
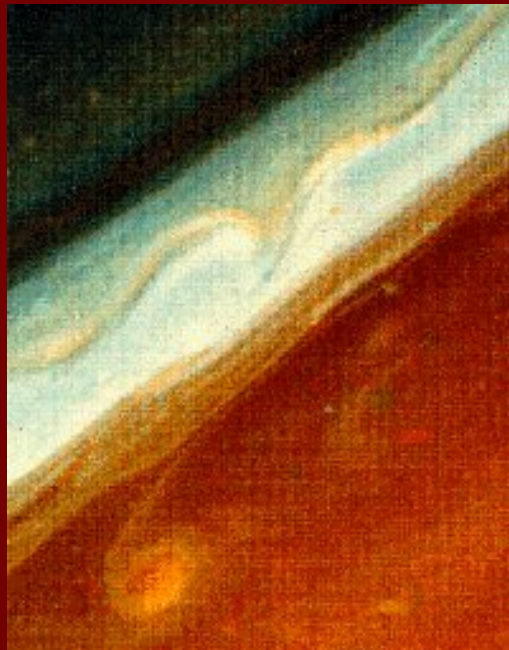
- L'elemento più abbondante è l'idrogeno
- Con la profondità e la pressione lo stato gassoso dell'idrogeno muta

Gli involucri



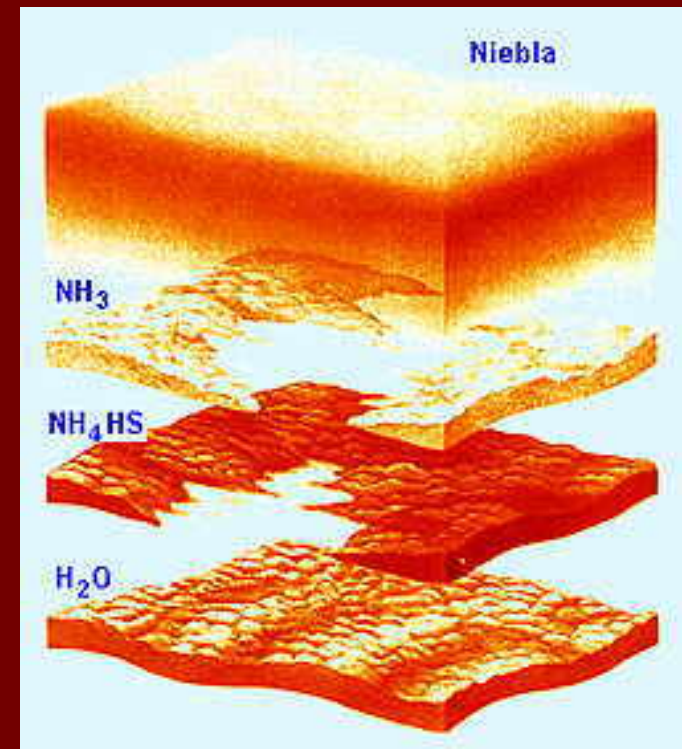
L'atmosfera esterna

- L'atmosfera esterna è costituita da una serie complessa di strutture nuvolose che interagiscono con venti e correnti



Atmosfera

- Suddividiamo l'atmosfera esterna in quattro livelli principali:
- Una cappa nebbiosa superficiale
- Un livello superiore di ammoniaca (bianco)
- Un livello intermedio con maggiore presenza azoto e zolfo
- Un livello inferiore di vapore acqueo



Idrogeno liquido-molecolare

- A pressioni maggiori gli atomi di idrogeno si avvicinano tanto da costituire una molecola
- H_2 è una molecola a legame covalente omopare che si forma in condizioni di bassa temperatura o ad altissime pressioni

Idrogeno metallico-molecolare

- A pressioni sempre più elevate le molecole si accostano a tal punto da favorire gli interscambi di elettroni
- Correnti elettriche pervadono questo stato dell'idrogeno e gli fanno assumere un comportamento metallico
- Probabile origine dell'intenso campo magnetico

Il nucleo

- I calcoli dimostrano che nel nucleo esistono condizioni estreme di pressione e temperatura:

Temperatura: 12000°K

Pressione: 8.000.000 atm

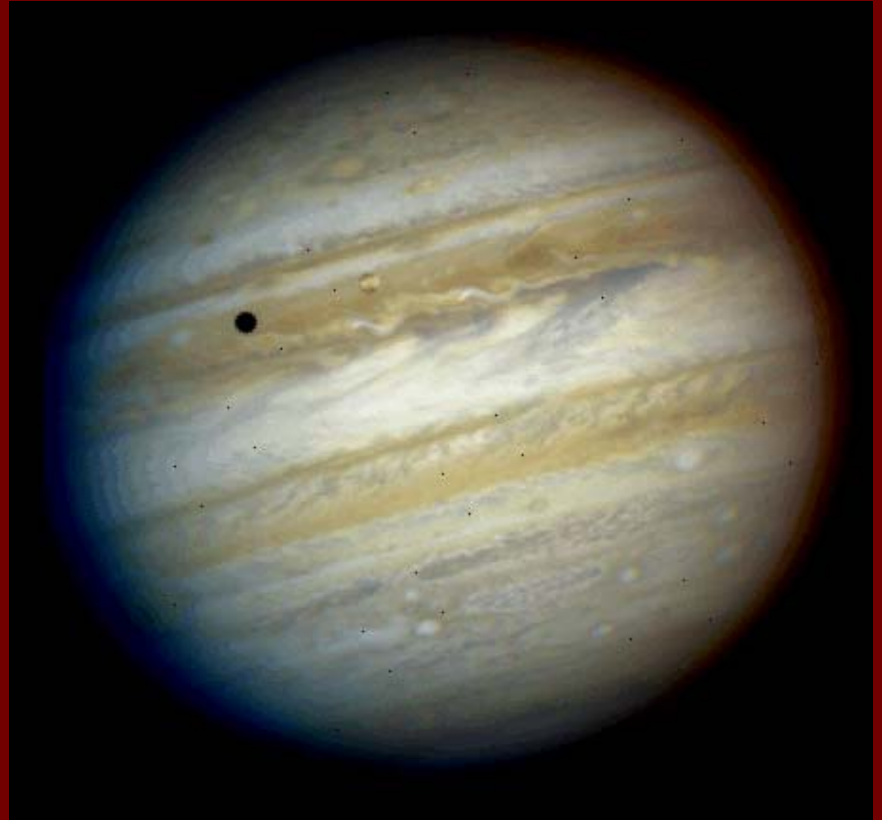
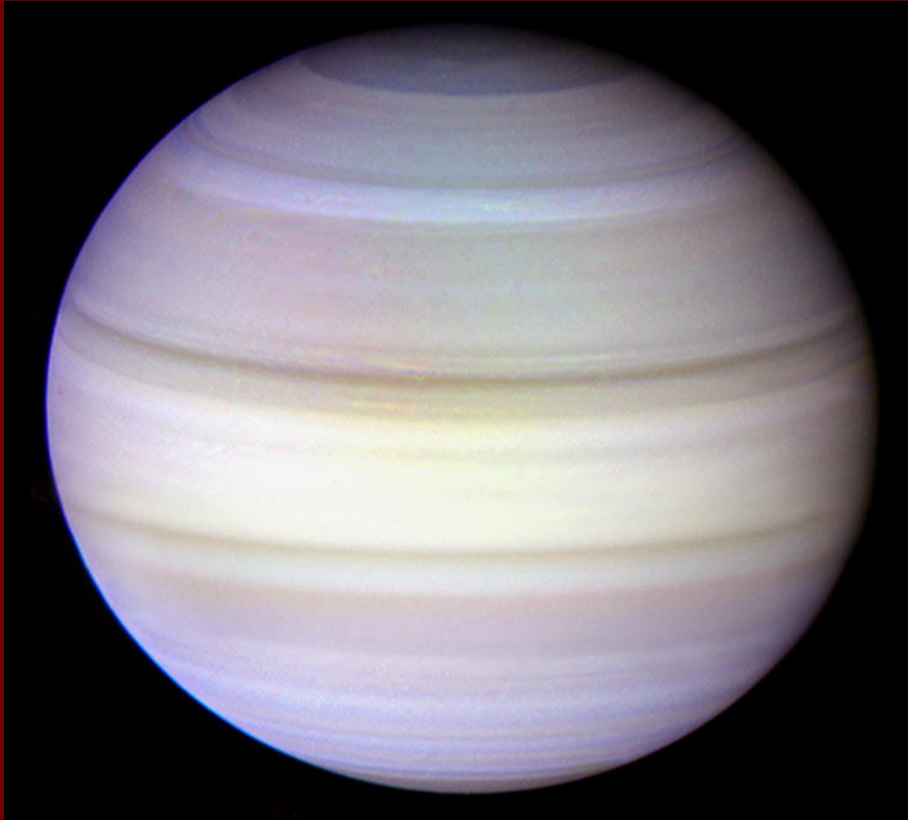
Probabile presenza di ferro-silicati e ferro-nikel

Cosa si vede?



- L'atmosfera nel visibile è molto **sbiadita** e senza contrasto
- Sono evidenti delle **bandature simmetriche** simili a Giove
- **Non** sembra che ci siano particolari **strutture complesse** nell'atmosfera esterna

Saturno vs Giove



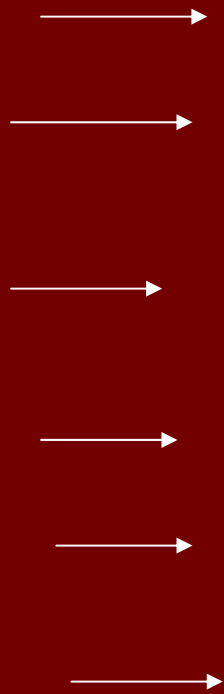
Saturno vs Giove

- In apparenza Giove sembra essere molto più **attivo** di Saturno
- Saturno sembra maggiormente rispettare una **simmetria** fra le zone e le bande

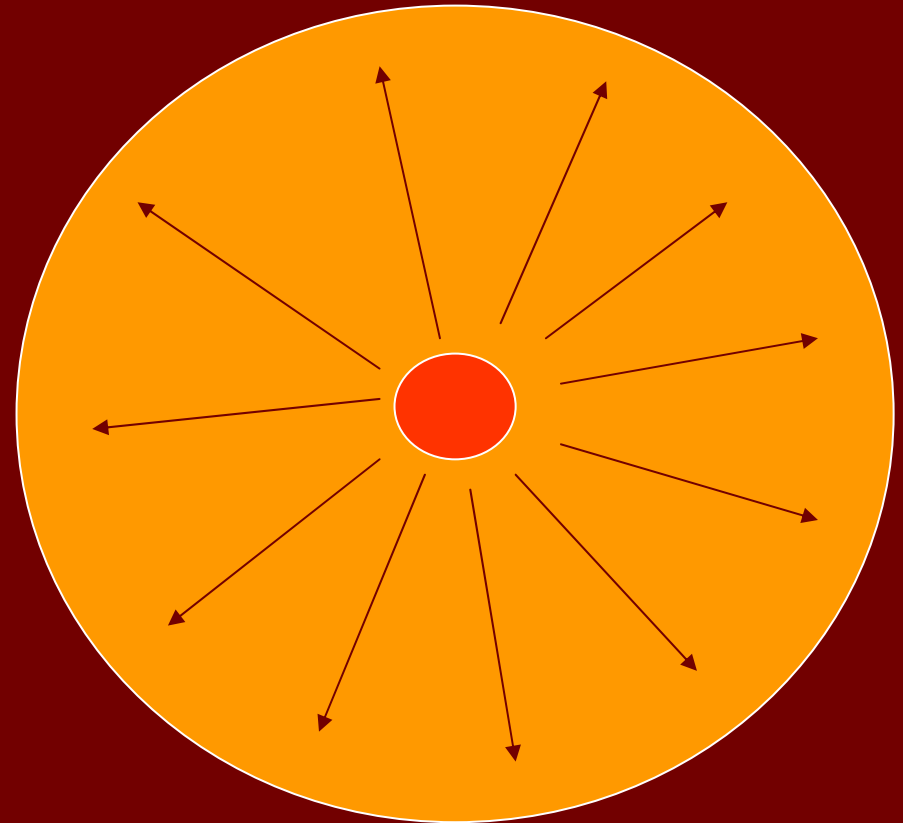
Se i pianeti risultano simili nella morfologia e nelle dimensioni come mai sono così differenti?

Il calore

Irraggiamento solare



Calore interno



Il calore interno

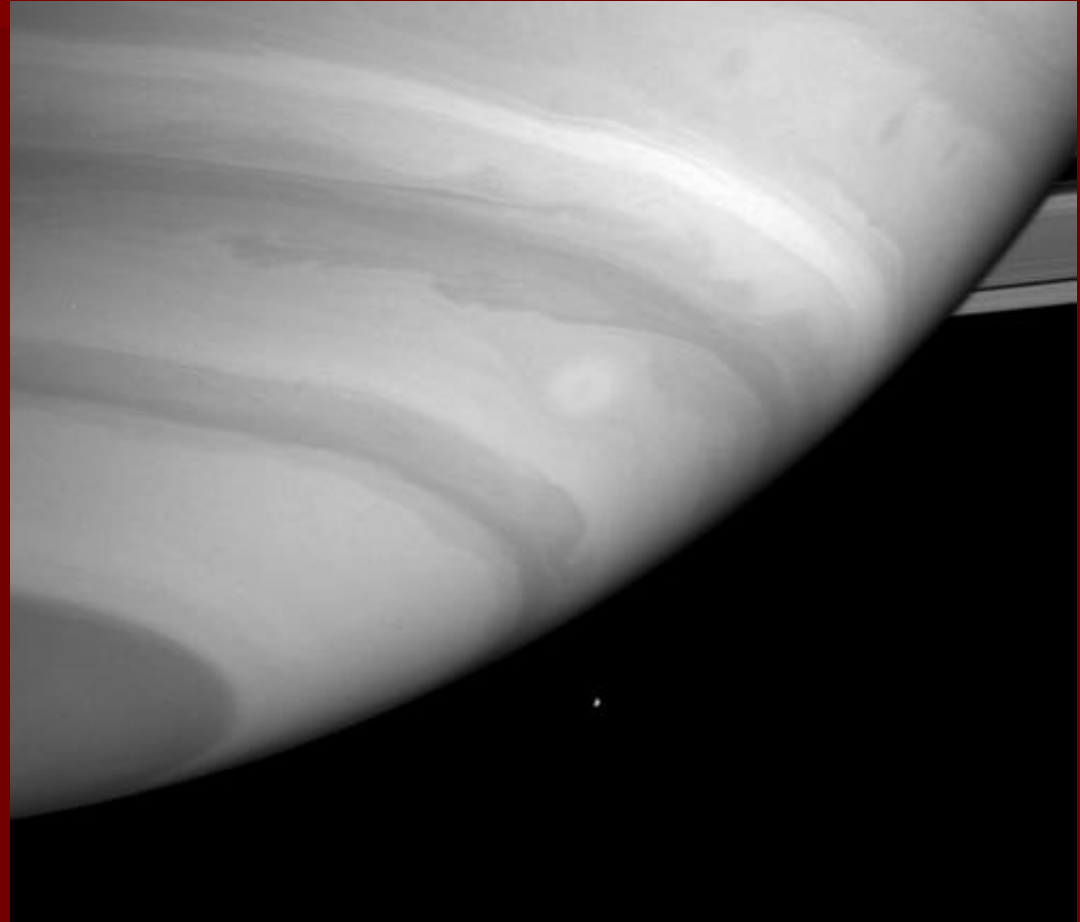
- Il calore interno nel pianeta **Terra** ha origine nel decadimento radioattivo degli elementi pesanti
- Su **Saturno** non è così, un nucleo roccioso molto piccolo non giustifica l'enorme quantità calore emanato
- Il calore prodotto è quello residuo della formazione del pianeta

La nebbia

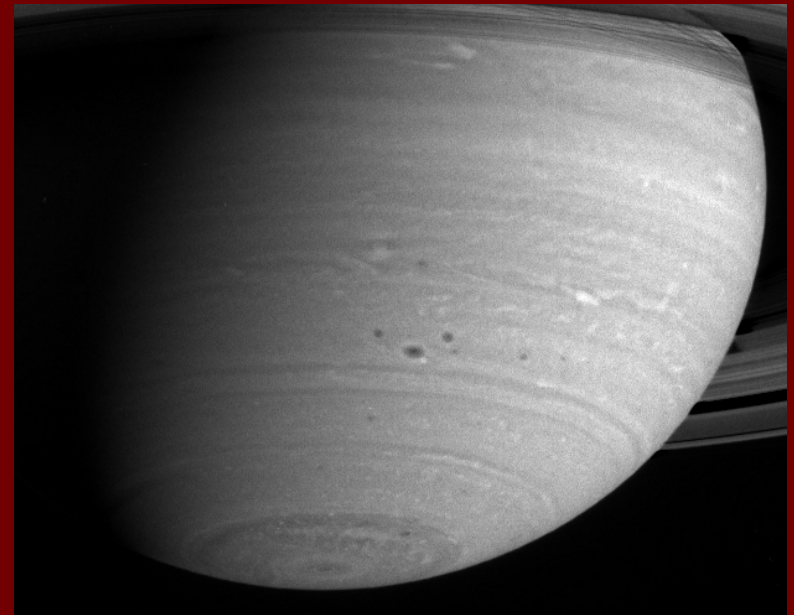
- Se le condizioni sono analoghe a Giove come mai Saturno non mostra questa attività?
- Tutto dipende dalla radiazione solare incidente: Saturno ricevendo meno radiazione ha una atmosfera esterna più fredda con una maggiore condensazione di vapore

Sotto la nebbia

- Eliminando la nebbia, l'atmosfera sottostante si rivela ricca di una grande dinamicità che si avvicina come intensità a quella gioviana



- La quantità di radiazione solare incidente non giustifica questa attività nuvolosa simile a quella gioviana
- Il calore che mette in moto le turbolenze superficiali è probabilmente il calore proveniente dal nucleo.



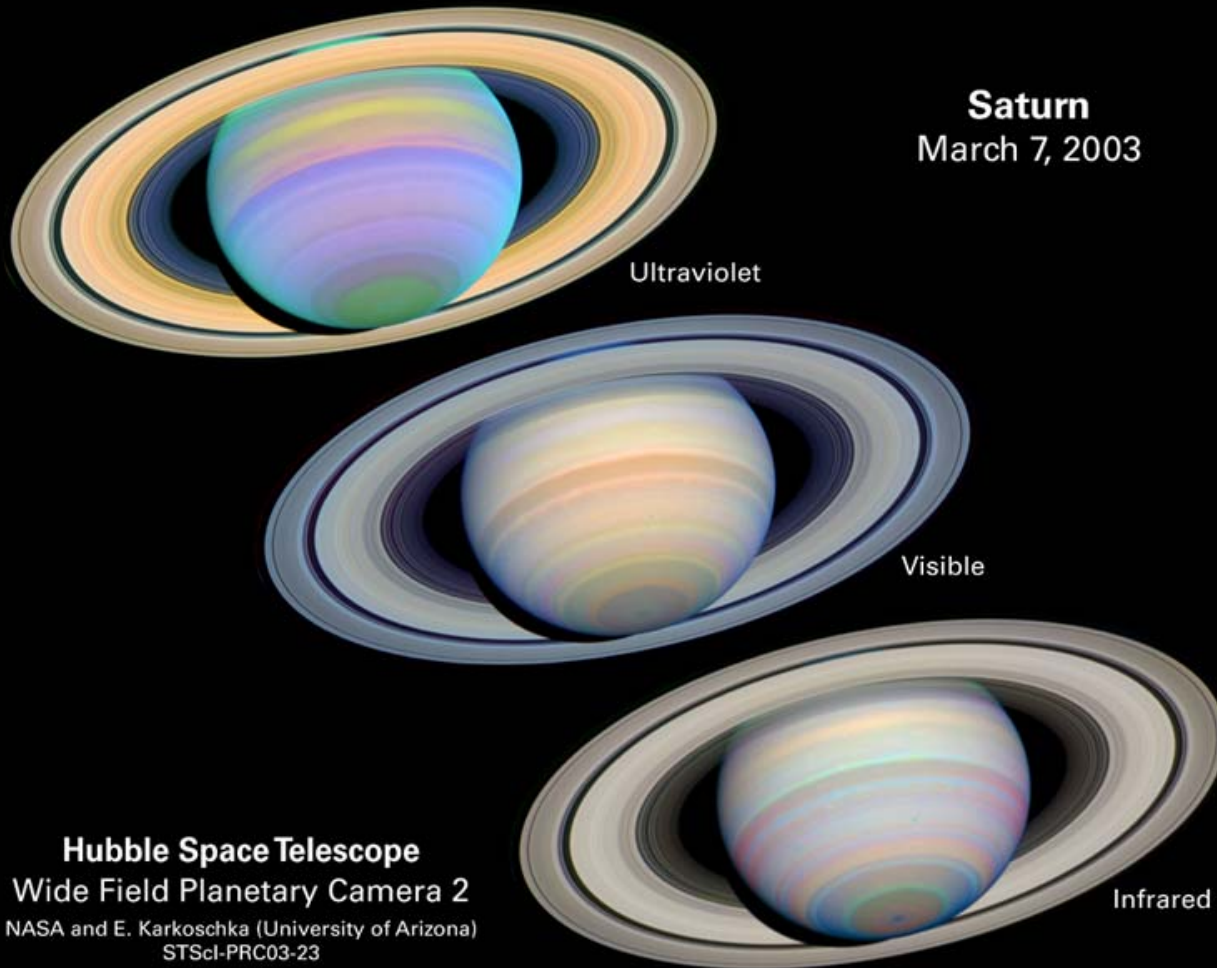
Variazione

- Al disotto delle cappe nebbiose la radiazione solare è poco influente o nulla
- L'intensità di radiazione agisce principalmente sullo strato nebbioso soprastante **dissipandone o concentrandone la densità**
- Vedremo come questa dinamica sarà fondamentale

Domanda

- E' possibile che la **radiazione solare possa influenzare la dinamica del calore interno** facendo variare gli equilibri termici al disotto delle cappe nebbiose?
- A questa domanda cercheremo di dare risposta più avanti

Uso dei filtri



- L'ultravioletto: nubi d'alta quota
- L'infrarosso nubi di bassa quota
- In infrarosso: maggiore bandature

L'ultravioletto



Saturn • January 4, 1998
Hubble Space Telescope • NICMOS

PRC98-18 • April 23, 1998 • ST ScI OPO • E. Karkoschka (University of Arizona) and NASA

Vediamo come il filtro ad ultravioletto mette in evidenza le zone polari equatoriale dove risiedono nubi in sospensione ad alta quota e che causano l'assorbimento della radiazione.

Nelle zone equatoriali troviamo nubi a quote minori.

L'infrarosso



Filtro infrarosso

SEB

Filtro rosso

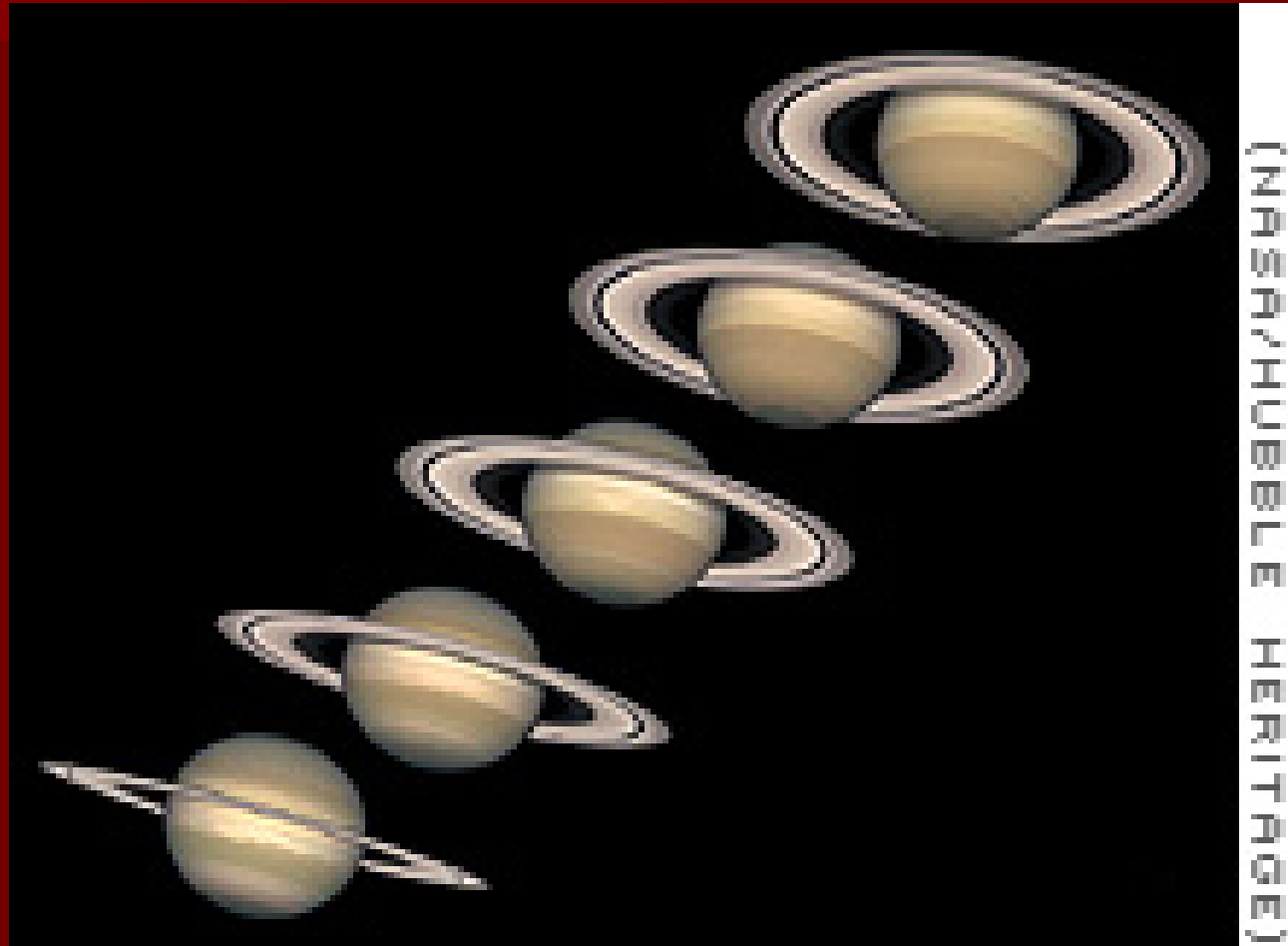
- La capacità penetrativa dell'infrarosso permette di rilevare un numero di bande maggiore.
- La diversa morfologia della SEB indica che stiamo osservando la stessa banda a profondità differenti

Le stagioni "saturniane"

- L'aspetto di Saturno varia nel tempo
- Il fenomeno della scomparsa degli anelli era un fenomeno noto sin dalle prime osservazioni
- Il primo a dare una giustificazione fu Huygens

L'aspetto

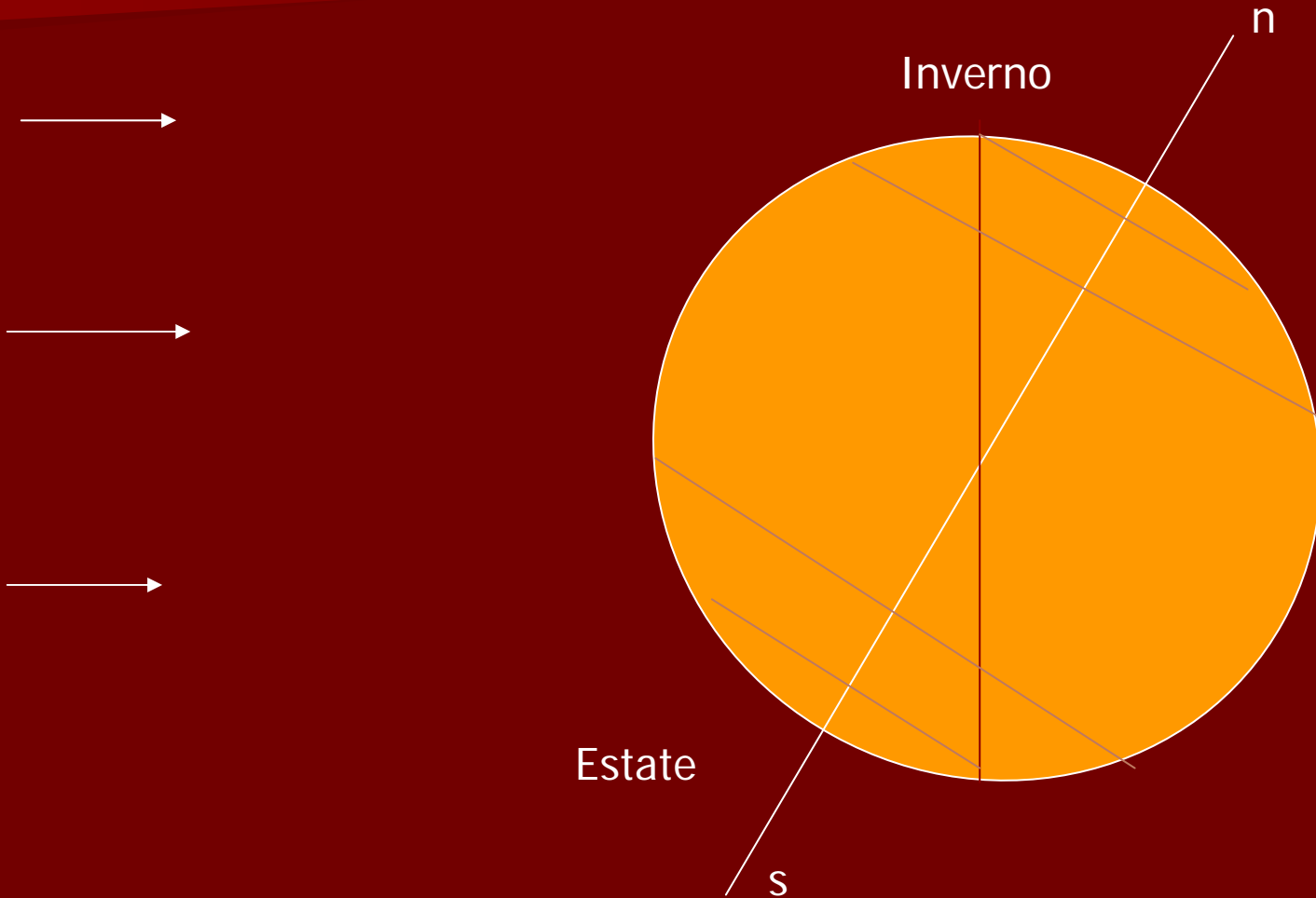
L'inclinazione dell'asse di Saturno è di circa: 27°



L'alternarsi delle stagioni

- Una tale inclinazione provoca, nel corso della sua orbita delle forti oscillazioni
- Tali oscillazioni provocano l'alternarsi delle stagioni in modo molto simile a quello che accade sulla terra
- La differenza è che il cambio stagionale degli emisferi avviene ogni 14 anni

Incidenza della radiazione solare



- Nello schema della diapositiva precedente vediamo che al polo sud si trova l'estate
- Al polo nord troviamo l'inverno
- Tale configurazione resta per 7 anni

Esempio: un estate al sud

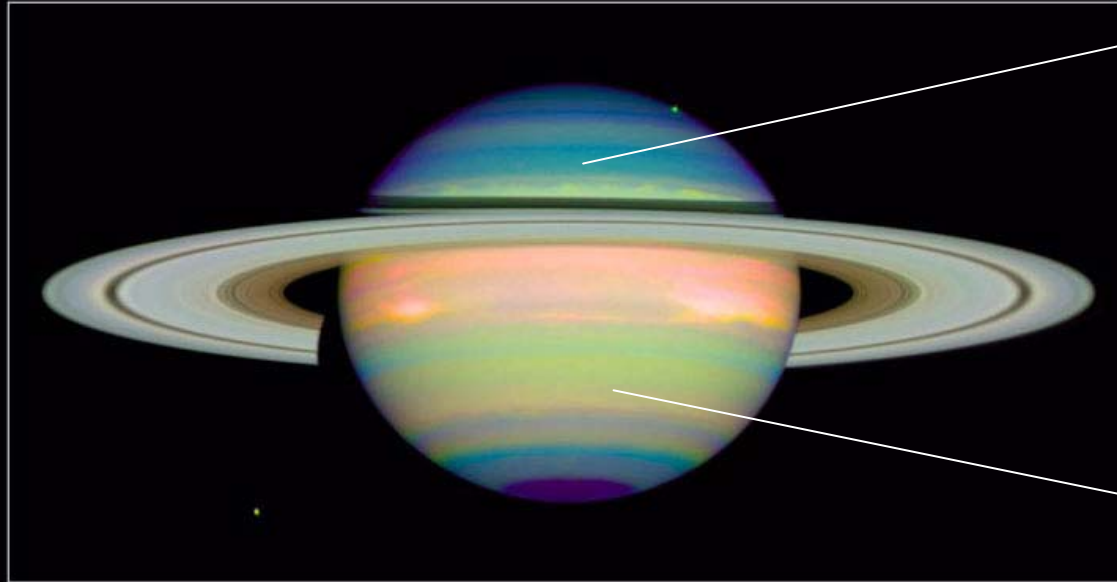


Nel 2003 si è verificata l'estate nell'emisfero sud

Cambiamenti nell'atmosfera

- Se la densità della nebbia è in funzione dell'incidenza del calore solare si deve verificare un disequilibrio di densità fra l'emisfero nord-sud

Ritorno all'ultravioletto



Emisfero in inverno:
cappe nebbiose più
dense

Emisfero in estate:
cappe nebbiose meno
dense

Saturn • January 4, 1998
Hubble Space Telescope • NICMOS

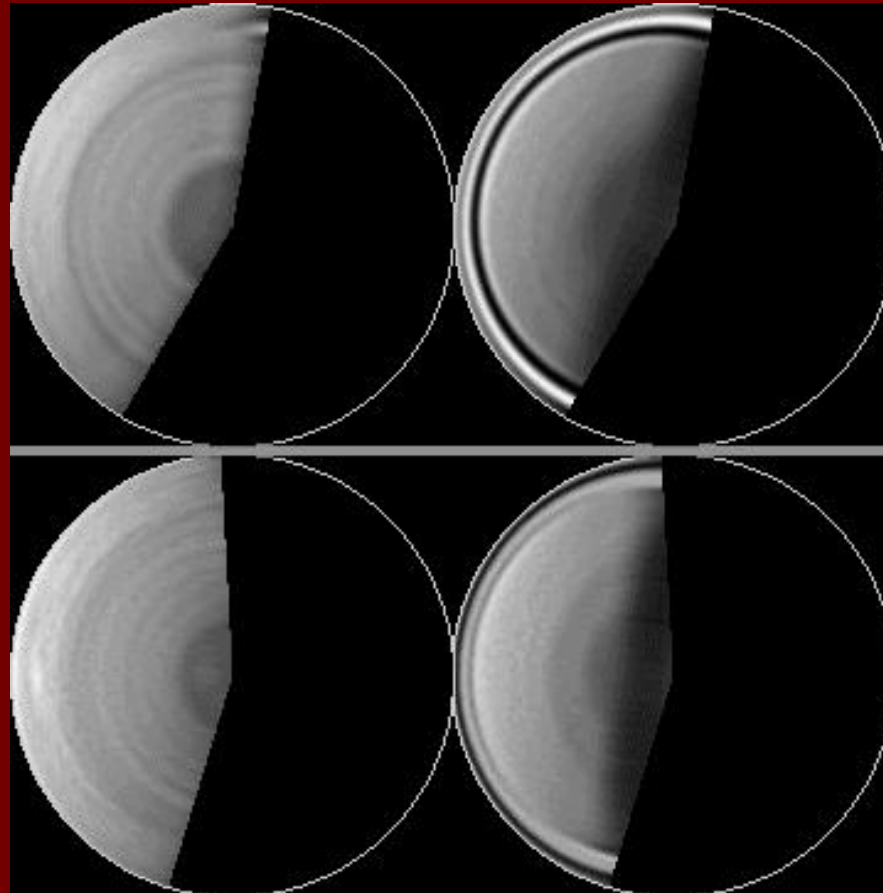
Osservazioni

- L'emisfero che attraversa la fase estiva possiede un minore spessore della nebbia d'alta quota rispetto all'emisfero in inverno
- Ciò dovrebbe favorire l'osservazione di strutture sottostanti

Un cambio stagionale

Nord

Sud

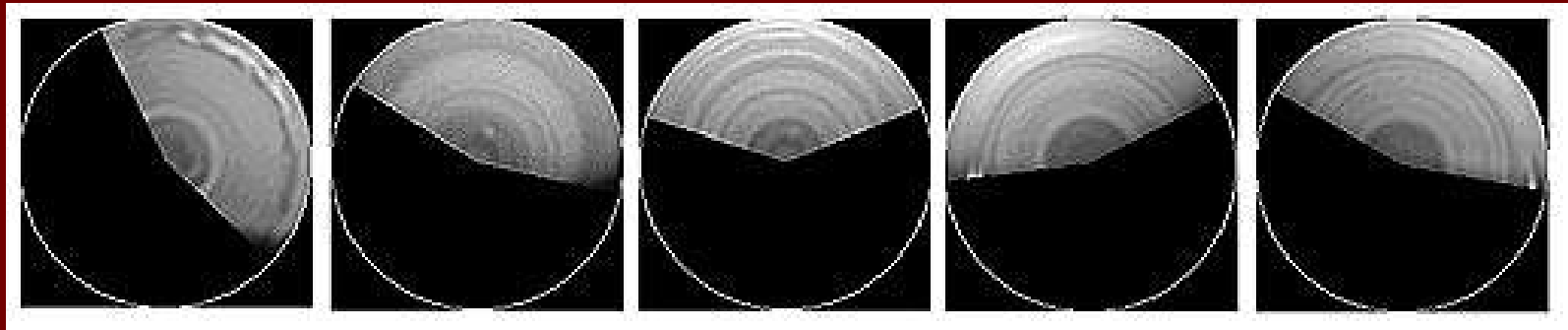


Fine dell'estate

Fine dell'inverno

- Il raffreddamento di un emisfero segue la progressiva scomparsa delle bande secondarie
- Al contrario nell'altro emisfero abbiamo la comparsa e una progressiva definizione delle bande

L'emisfero nord: 1990 - 1994



In questa serie di immagini vediamo l'emisfero nord dal 1990 – 1994 in cui si osserva il passaggio dall'inverno all'estate

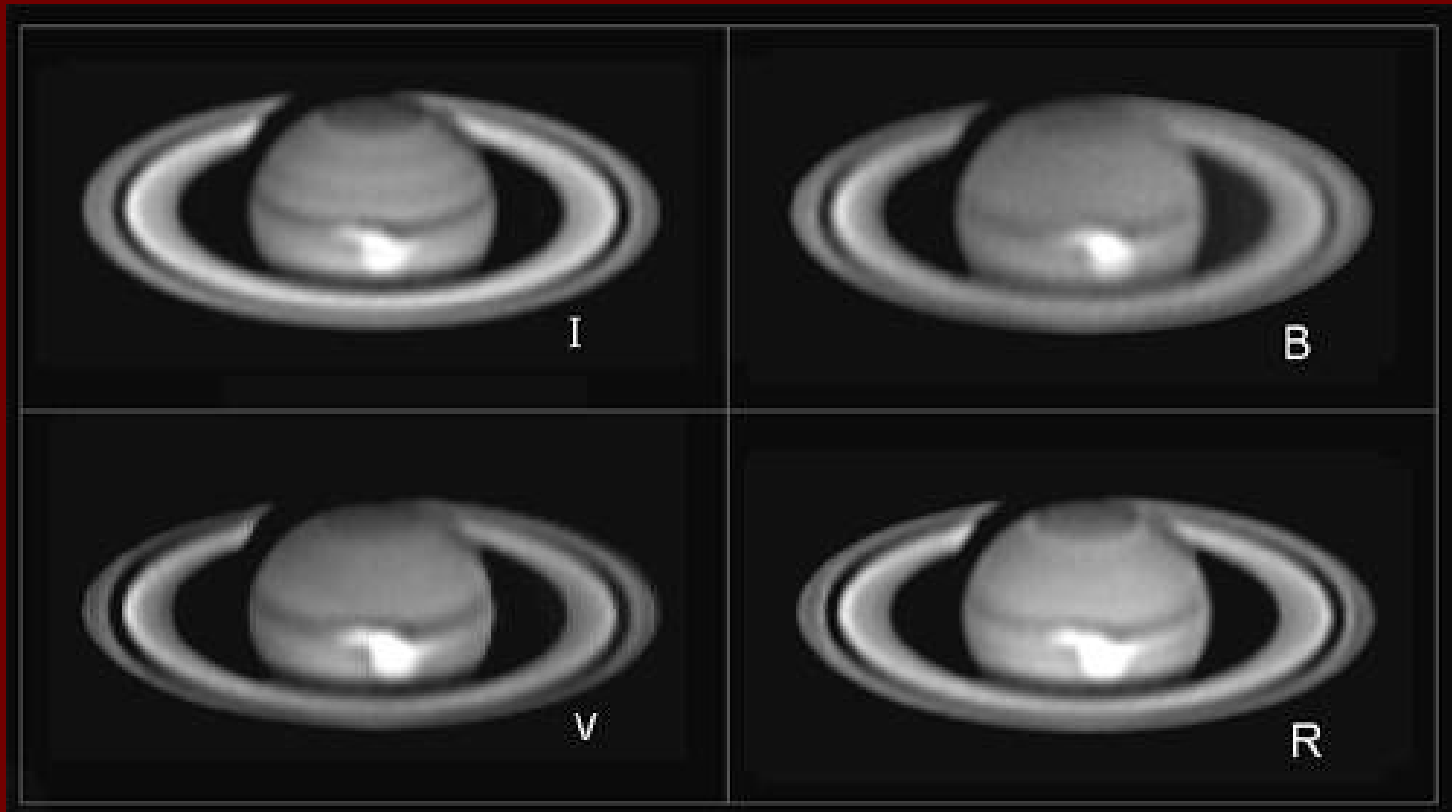
Eventi catastrofici

- Nel corso degli'ultimi 10-15 anni grazie alle nuove tecniche si è avuta la possibilità di seguire con più precisione l'attività atmosferica del pianeta
- Si è scoperto che su Saturno avvengono degli eventi di straordinaria attività meteorologica
- Eventi forse di natura endogena

Le eruzioni e le stagioni

- Gli eventi catastrofici su Saturno vengono definiti come **eruzioni** poiché compaiono all'improvviso e sono localizzate
- A seguito dell'eruzione si manifestano delle **tempeste** che perdurano per alcuni anni
- Si è visto che questi eventi si manifestano durante i **passaggi stagionali**

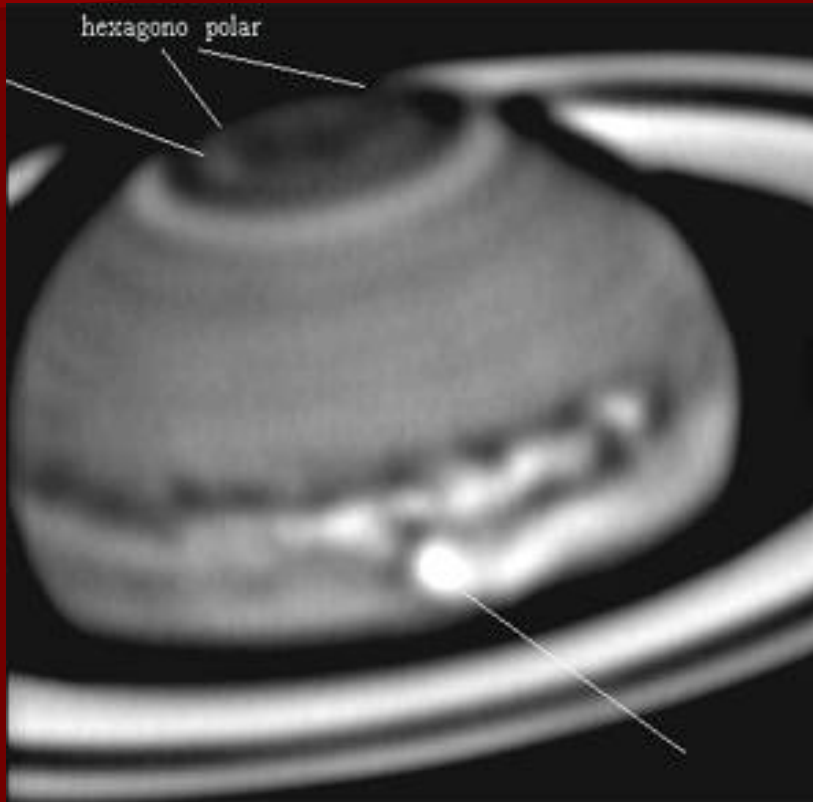
2 Ottobre 1990



La tempesta del 1990

- 2 Ottobre del 1990 appare una gigantesca macchia bianca localizzata sulla fascia equatoriale del pianeta
- L'emisfero ha appena attraversato il picco dell'estate e si avvicina all'autunno

5 Novembre



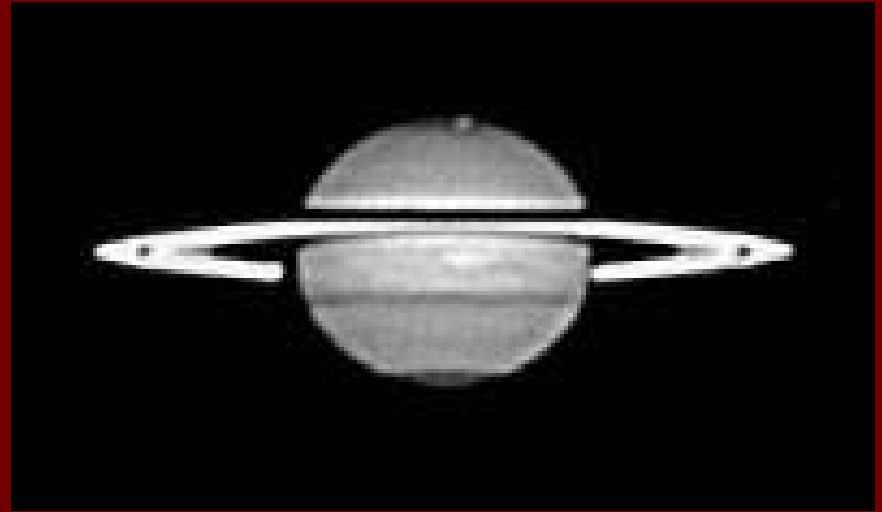
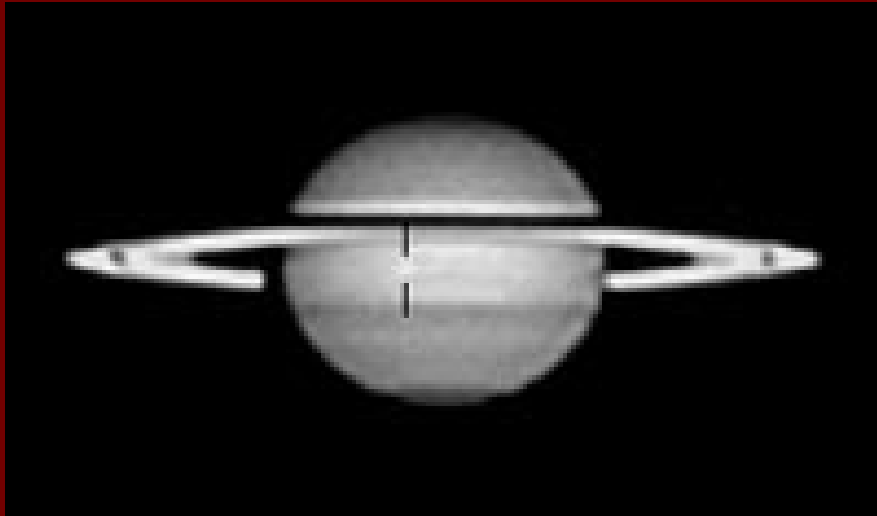
Un mese dopo la tempesta subisce gli effetti delle intense correnti equatoriali (**1800 km/s**) e si diffonde lungo l'equatore perturbando la NEB

Fine della tempesta del 1990

- La tempesta di inizio decade si spegne gradualmente con nuclei bianchi attivi
- Dura sino al 1993, anno dopo il quale le bande ritornano alla configurazione originaria

Il revival 1994

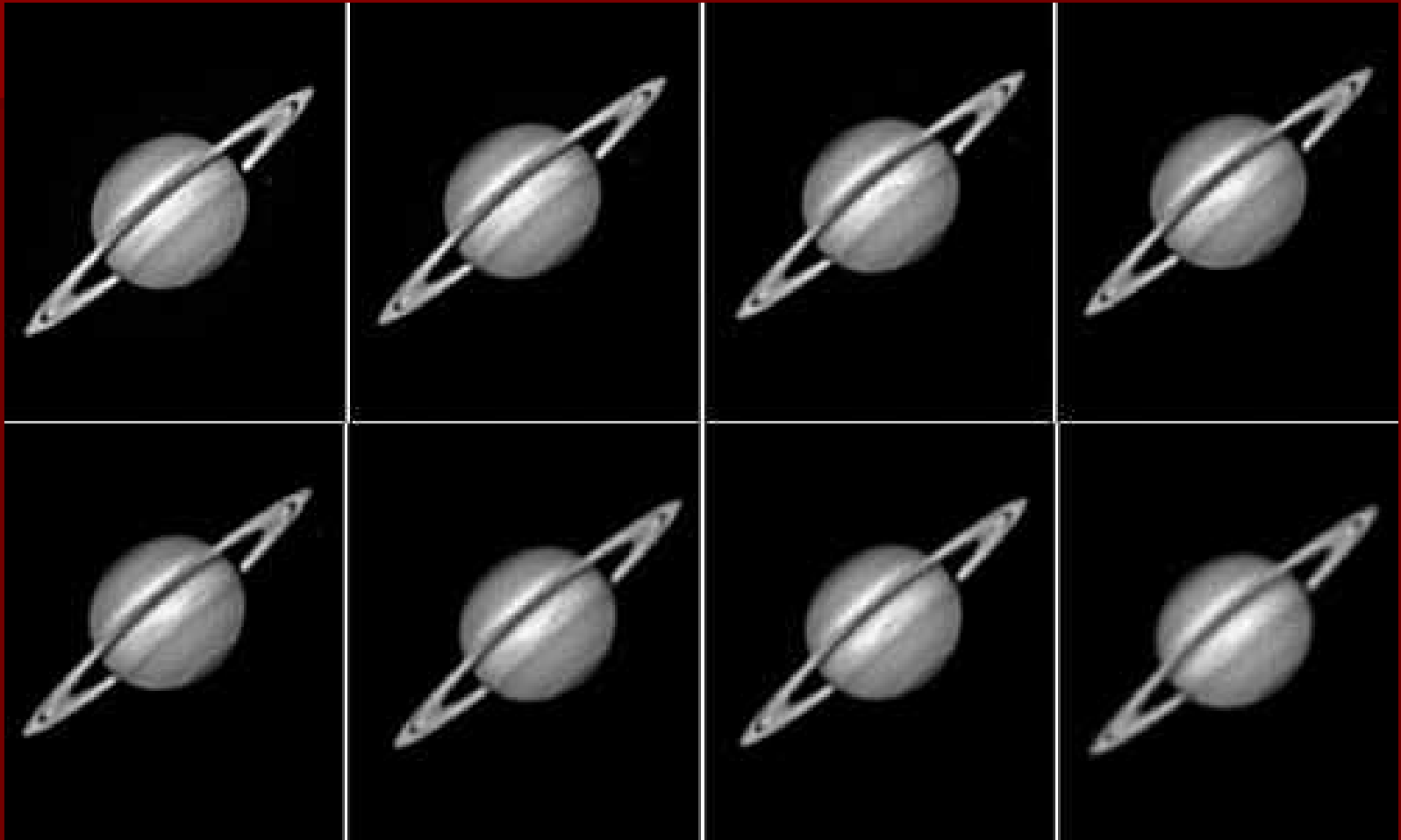
- Dopo la tempesta del 1990, nel 1994 si ha un revival del fenomeno sulla fascia equatoriale del pianeta



1994

- Il fenomeno è meno intenso rispetto al 1990
- Appare come una macchia chiara seguita da diversi nuclei chiari
- Comincia ad allargarsi e "scava" nella NEB un'ampia baia
- Giunge ad una estensione di 15°

1994

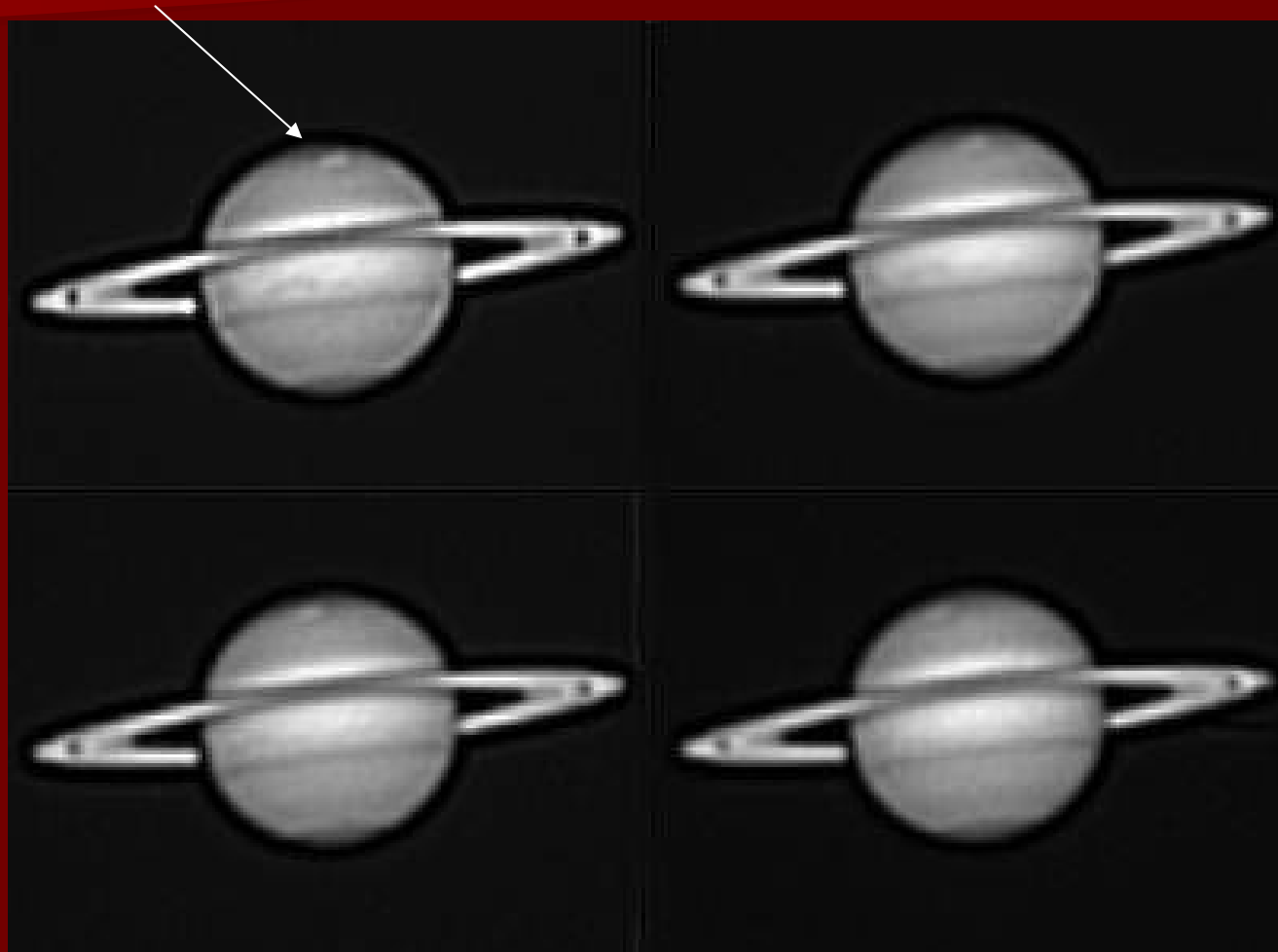


10 – 11 Settembre 1994

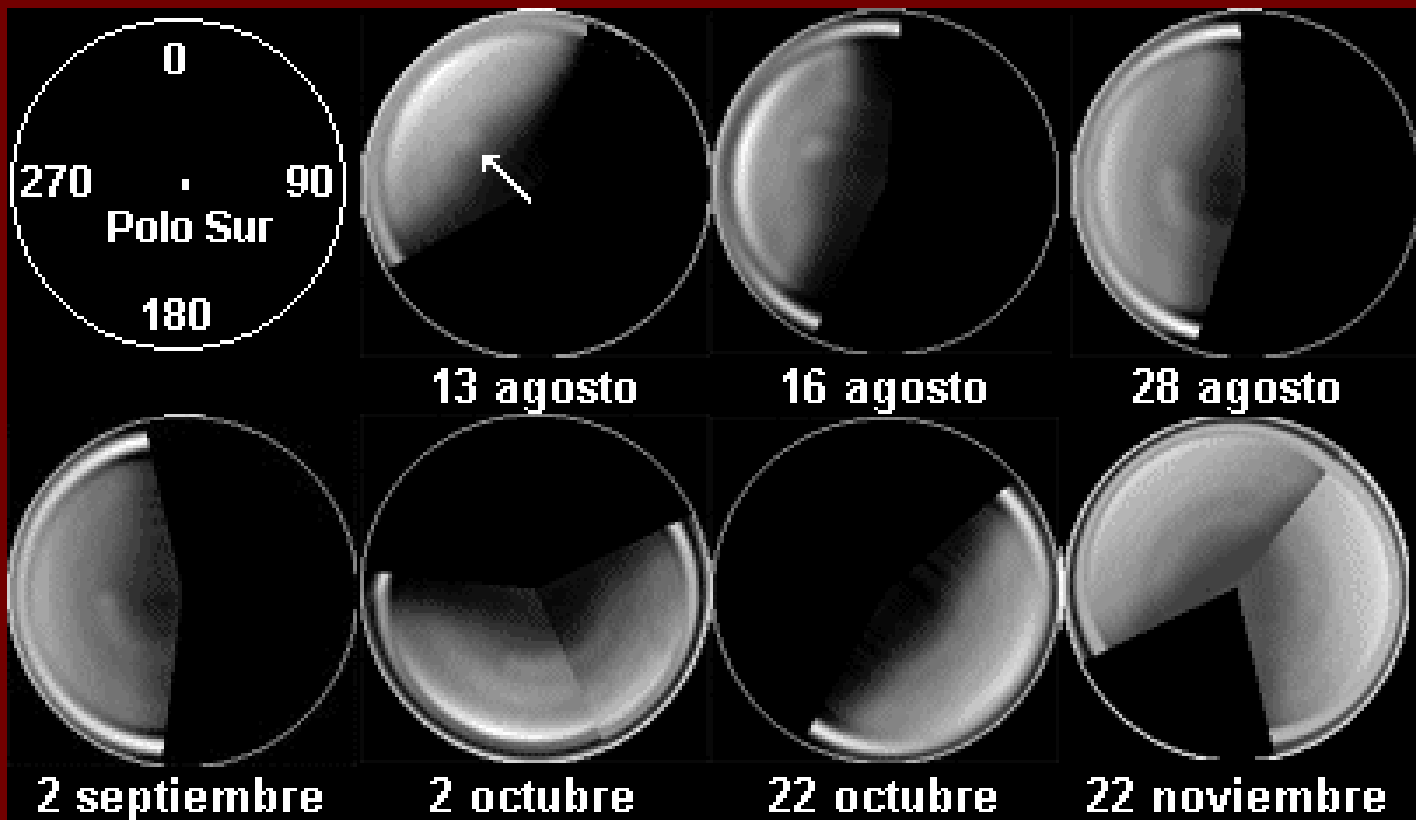
1994: l'anno delle tempeste?

- In Agosto del 1994 appare anche una eruzione nell'emisfero sud
- La visuale non favorevole non ci permette di osservare dettagli precisi

La tempesta a sud



- La tempesta appare nella notte fra il 12 e il 13 agosto ad una latitudine di 57°S
- In pochi giorni si diffuse ad una velocità di 15km/s avvolgendo tutto il parallelo



Nascono le zone?

- La diffusione di materiale chiaro lungo tutto il parallelo porta alla formazione di una fascia zonale chiara stabile
- La comparsa di queste eruzioni sembra essere alla base della suddivisioni delle bande e delle zone

Le tempeste del passato

- Negli archivi storici vediamo la testimonianza di queste tempeste cataclismiche:
 - 1877 latitudine= 5° N
 - 1903 latitudine= 36° N
 - 1933 latitudine= 5° N
 - 1960 latitudine= 58° N
 - 1990 latitudine= 5° N

Mmmh....

- La media degli intervalli fra una tempesta e l'altra è di circa:

28 anni

- Il periodo di rivoluzione di Saturno è di:

29 anni

Eruzioni e stagioni

- Gli eventi maggiori si verificano ogni chiusura di un ciclo stagionale completo
- Si concentrano nell'emisfero nord
- Che correlazione esiste fra il ciclo stagionale e le eruzioni?

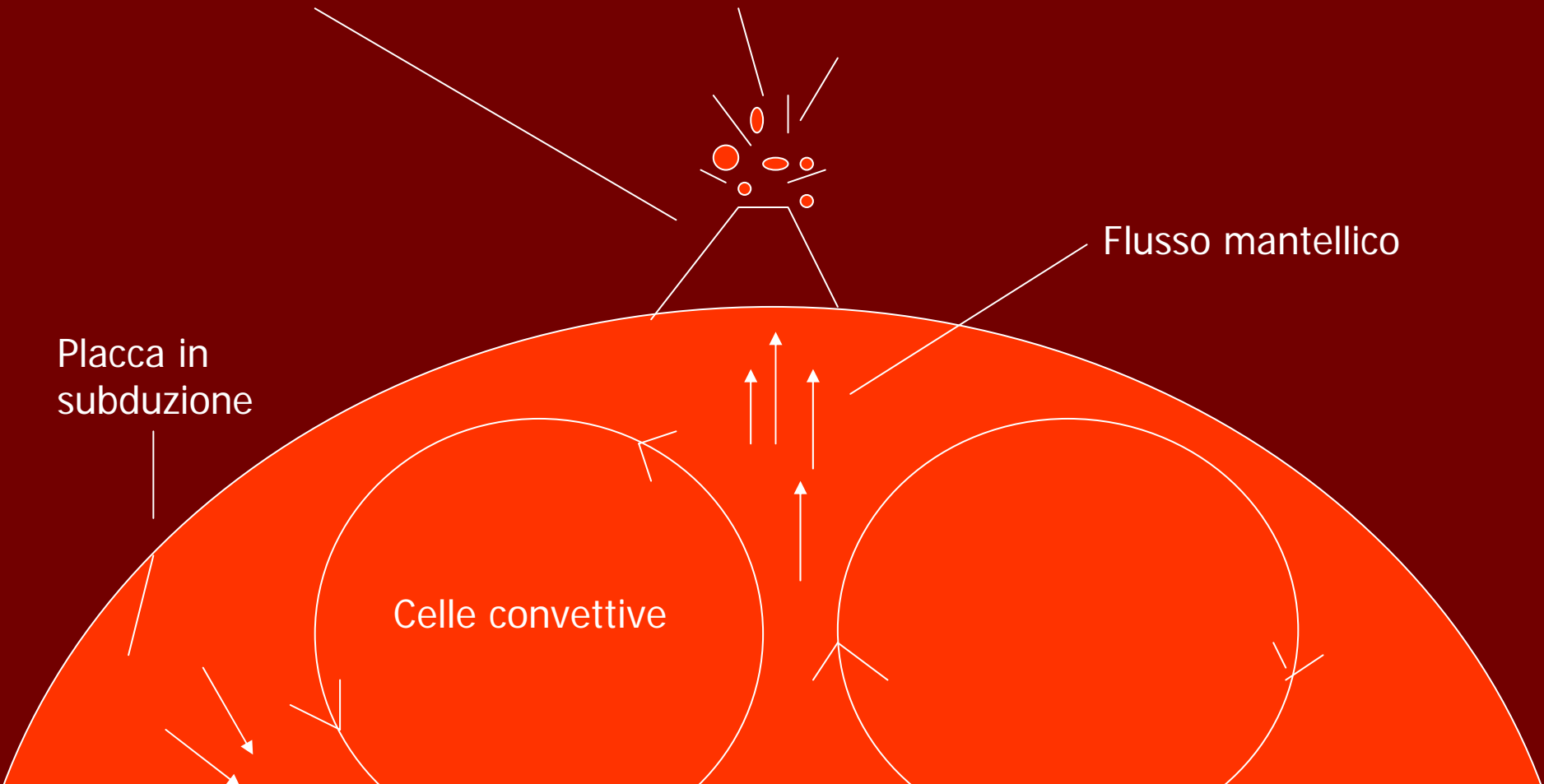
Le eruzioni terrestri

Eruzione: dorsale medio oceanica

Placca in
subduzione

Flusso mantellico

Celle convettive



La trasmissione di calore

- Il modello terrestre prevede che la trasmissione di calore dal nucleo in superficie avvenga per convezione
- La convezione opera per celle convettive che permettono al calore di risalire per mezzo del flusso fra le celle nel mantello
- Su Saturno avviene la stessa cosa...

- Poiché rispetto al modello terrestre, Saturno non ha un interno interamente solido ma liquido **la convezione interna è più rapida**
- Il flusso di calore elevato arriva in superficie dove si manifesta con le strutture dinamiche e turbolente tipiche

Perché avvengono le eruzioni?

- Un'eruzione rappresenta un **improvviso rilascio di energia termica** proveniente dalle profondità interne
- Tale energia riesce a superare la barriera fredda soprastante e a liberarsi al di sopra delle strutture nuvolose

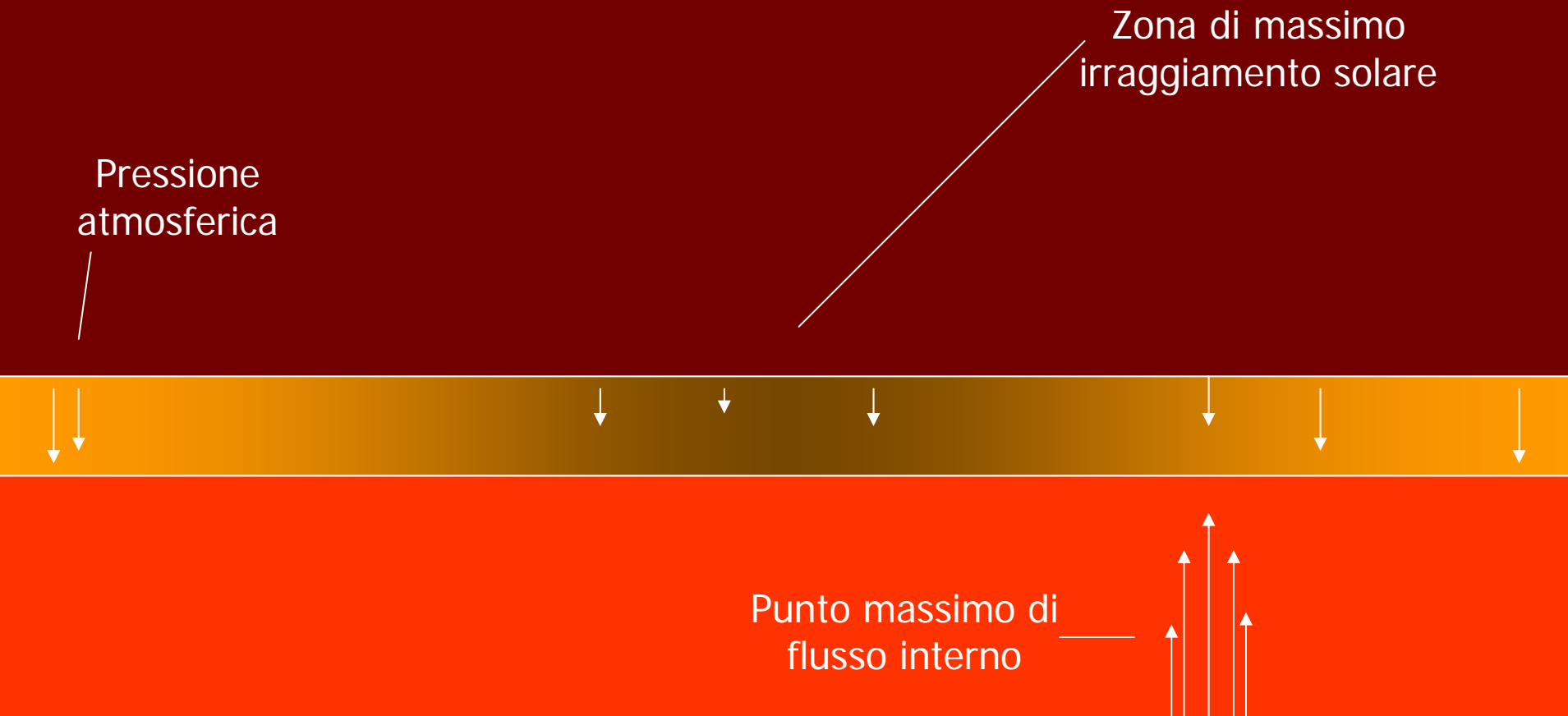
Che cosa centra il cambio stagionale?

- Deve esistere una **relazione che lega il cambio stagionale con il rilascio dell'energia sottostante**
- Abbiamo visto come il calore proveniente dal sole non influenza la **dinamica del calore interno**
- Ma **l'irraggiamento influisce sulla densità delle nubi esterne**

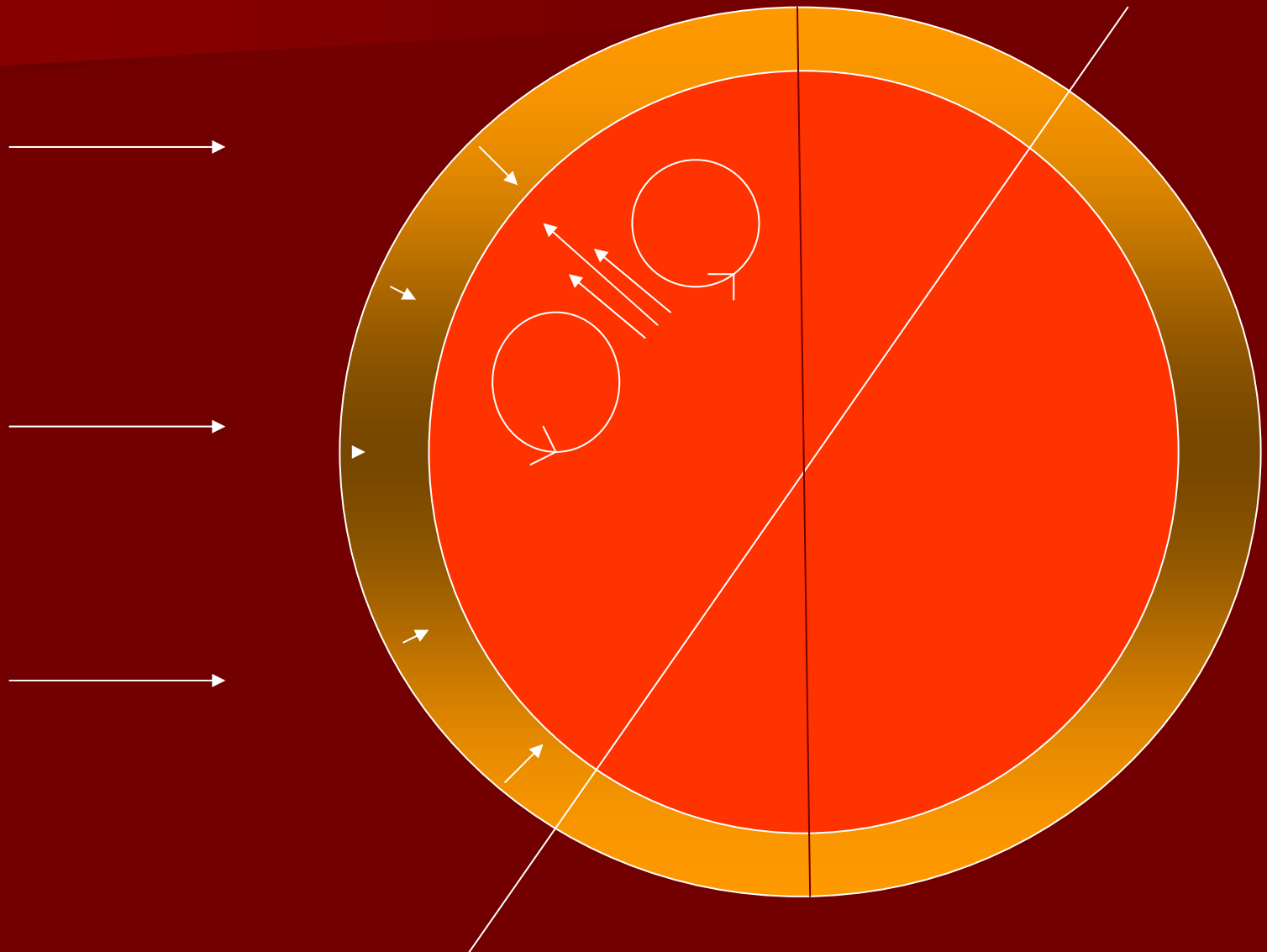
Ipotesi

- Una diminuzione della densità sovrastante delle nubi può portare ad un **abbassamento della pressione localizzata**
- L'abbassamento di pressione si distribuisce lungo la **fascia tropicale** più esposta ai raggi solari

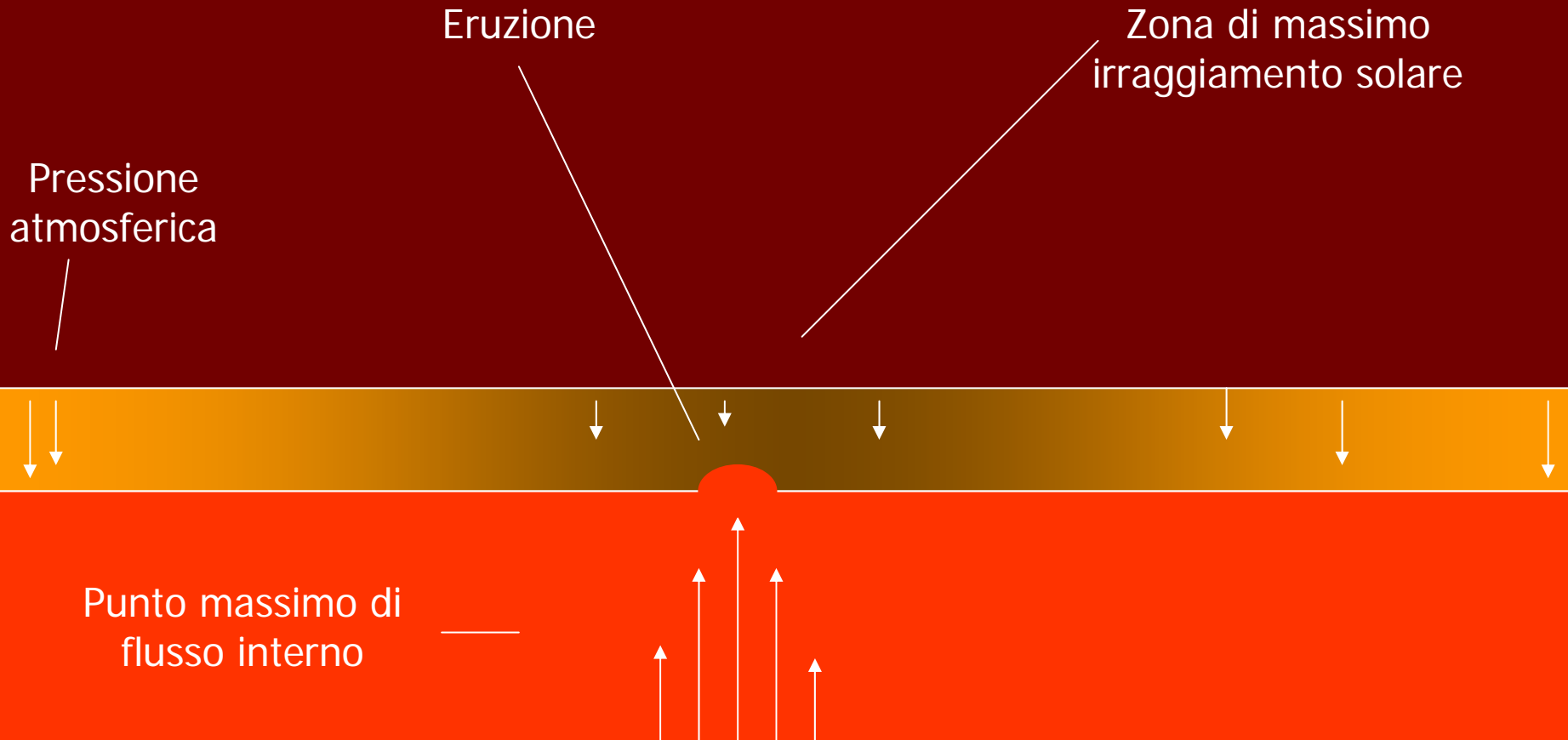
Schema 1: Solstizio



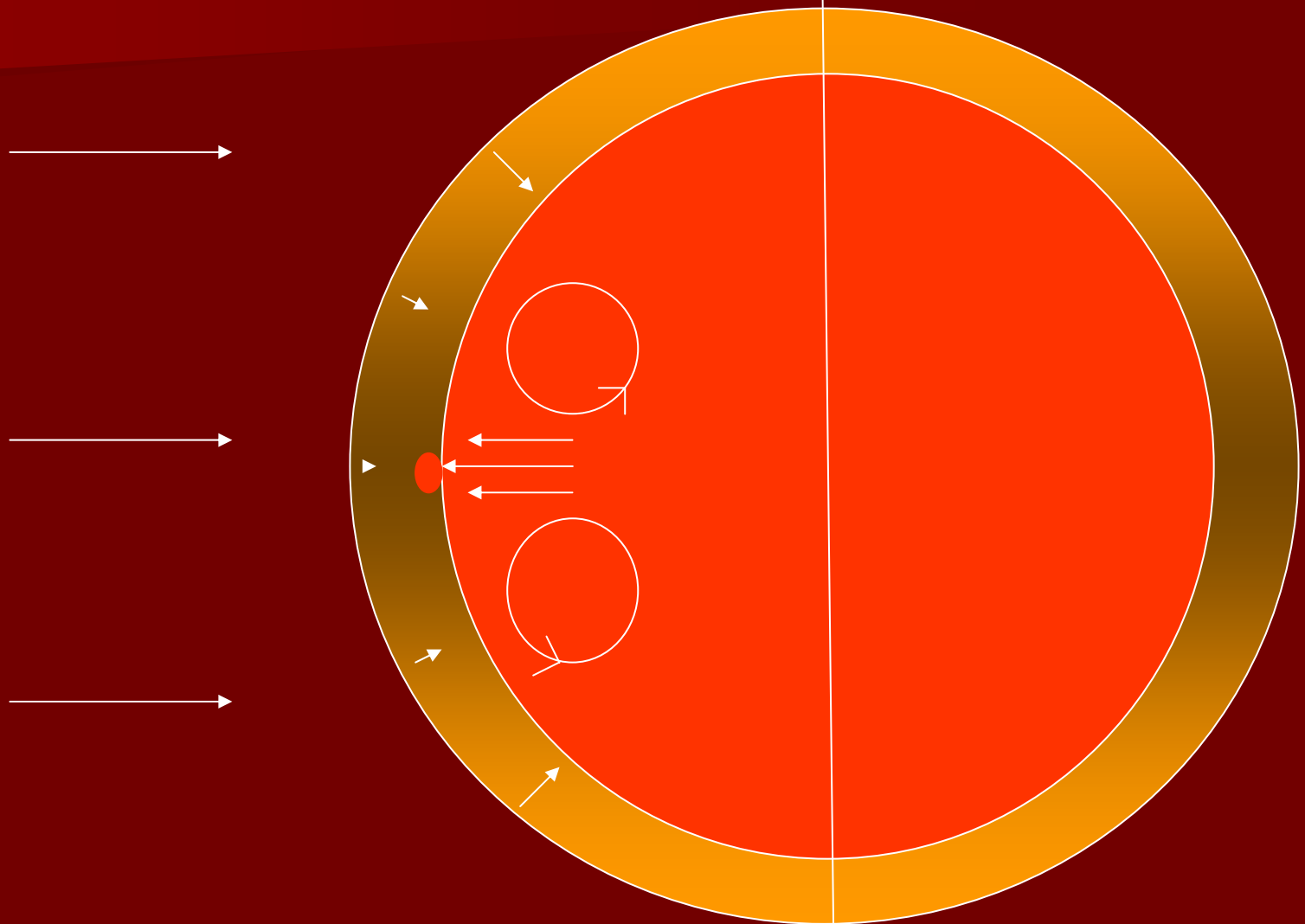
Schema 2: Solstizio



Schema 1: Equinozio



Schema 2: Equinozio



L'eruzione localizzata

- Il flusso di calore si origina da un punto o da una fascia lungo il parallelo
- Su Saturno le eruzioni avvengono principalmente nella fascia di equatoriale e nell'emisfero nord

Asimmetria delle celle convettive

- Come abbiamo visto in precedenza le tempeste più violente si localizzano nell'emisfero nord
- Ciò può essere dovuto ad una distribuzione asimmetrica delle celle convettive per cause non chiare

Oggi

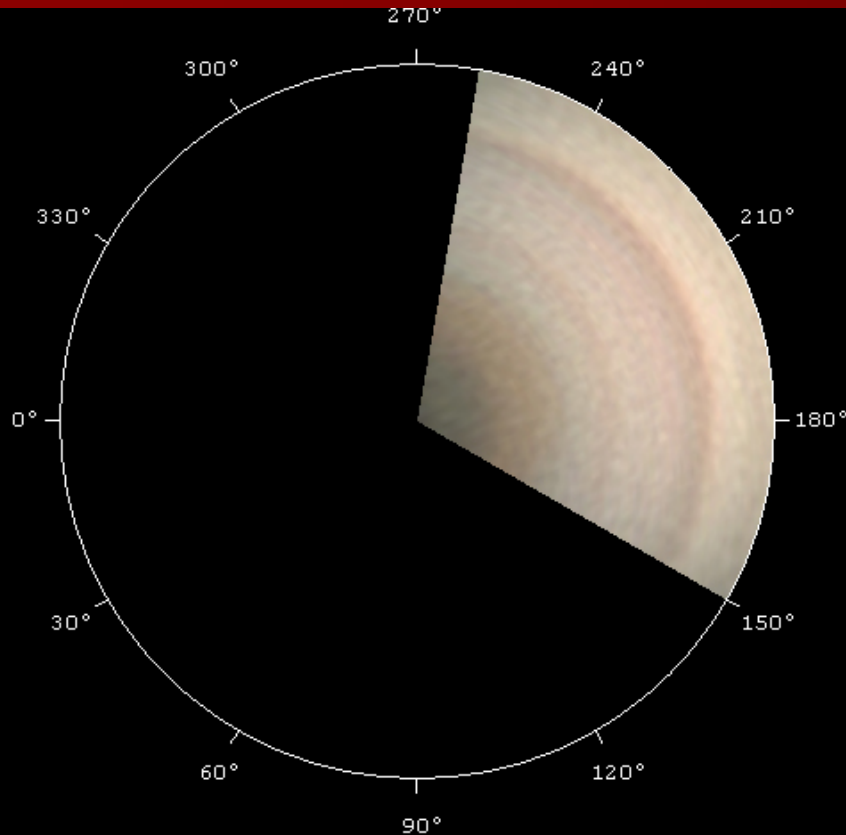
SATURNO - 09 Gennaio 2005 TU 00:14
New 250/1200 con vesa pro, seeing 2/5, trasparenza ottima.
Elab. Iris, Photoshop.



Contrada Aguglia - Noto (SR)
Diego Barucco

Attualmente su Saturno sta terminando l'estate nell'emisfero sud e si sta progressivamente avvicinando all'**equinozio**

Proiezione polare: emisfero sud



Nella proiezione polare della precedente immagine vediamo una suddivisione marcata delle bande, indice di un assottigliamento delle coltri di nubi ad alta quota dell'estate.

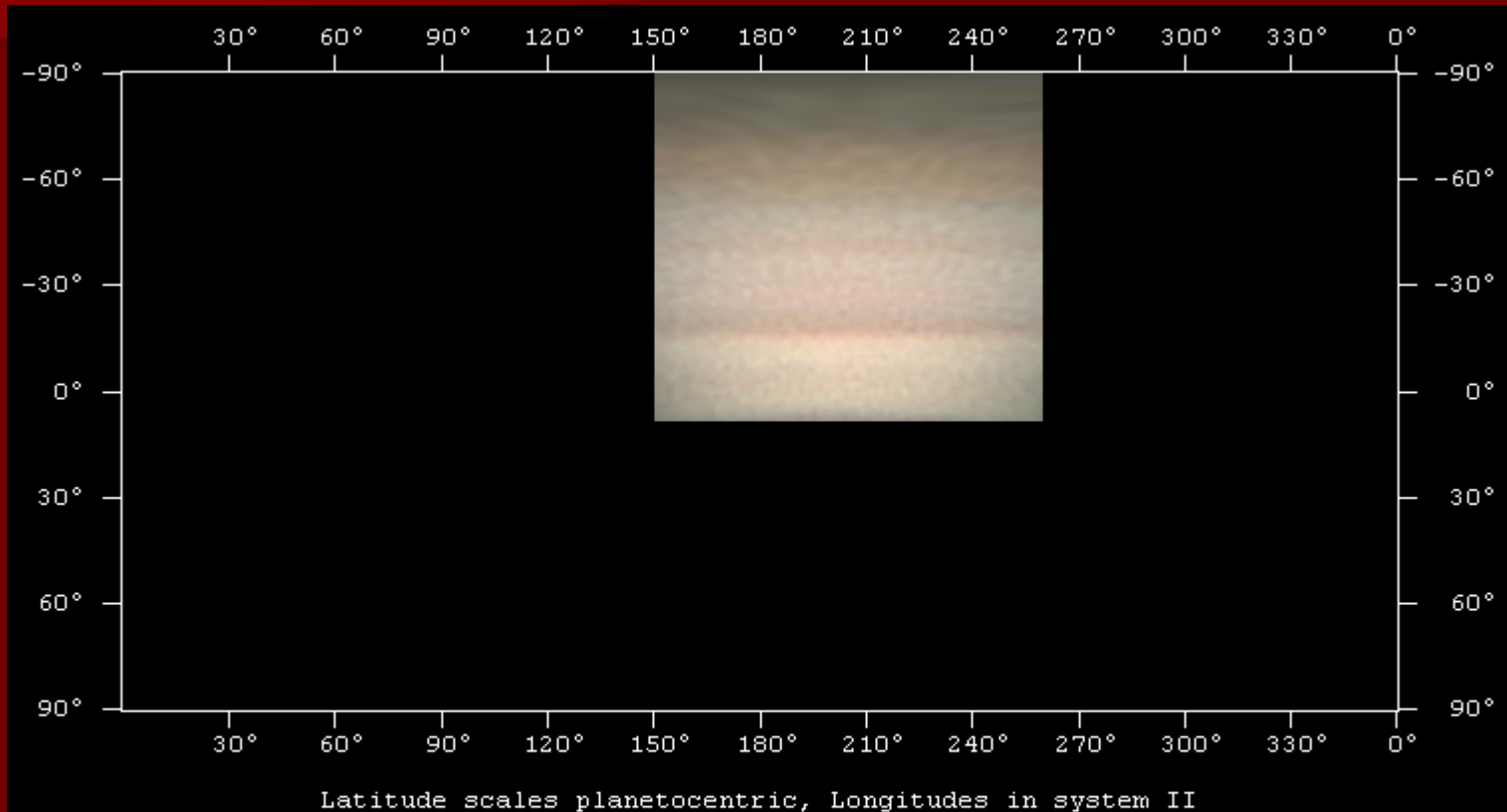
Latitude scales planetocentric, Longitudes in system II

Saturno 9 Gennaio 2005 TU 00:14

Proiezione polare sud.

Diego Barucco

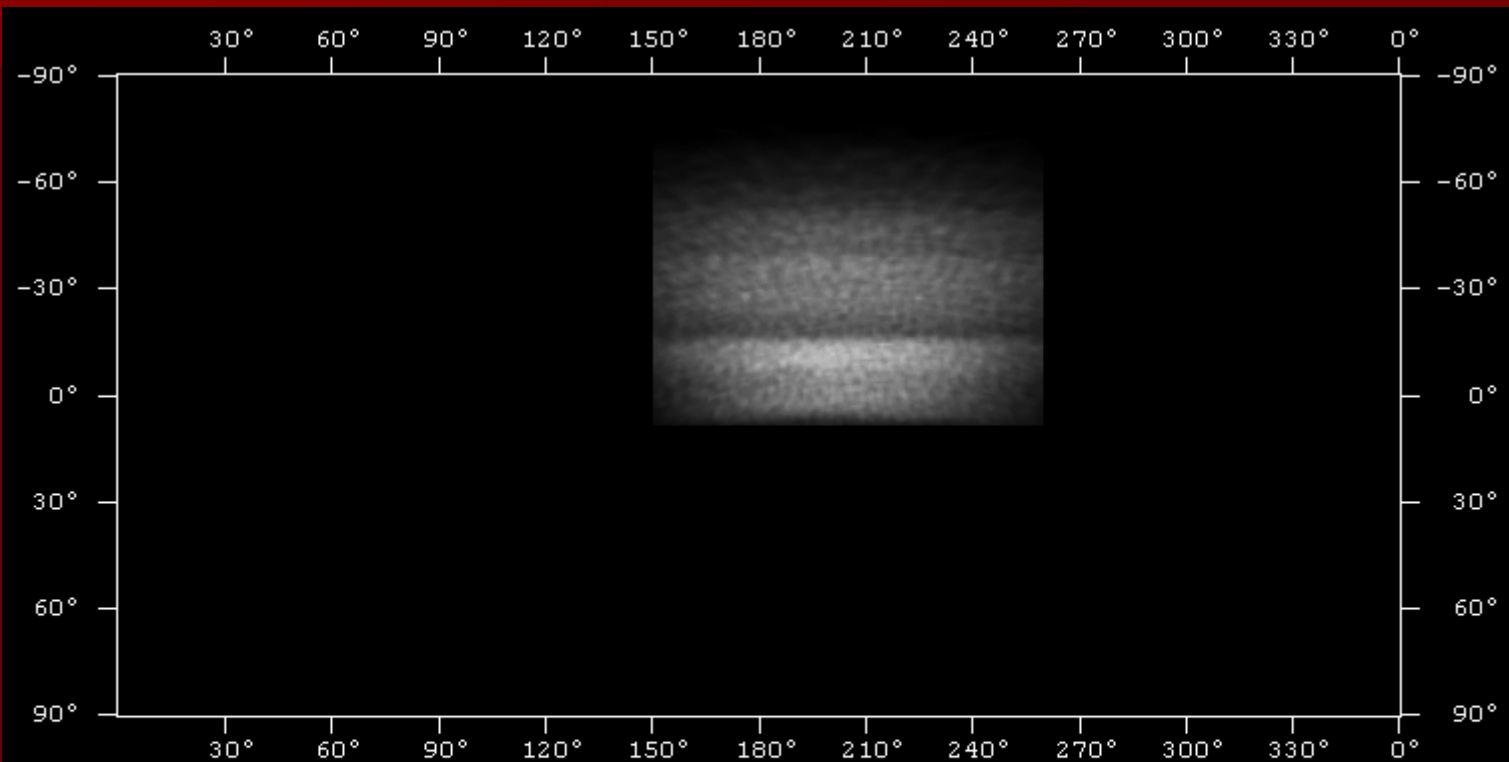
La proiezione cilindrica planetocentrica



Saturno 9 Gennaio 2005 TU 00:14
Proiezione cilindrica (sud in alto).

Diego Barucco

Elaborazione

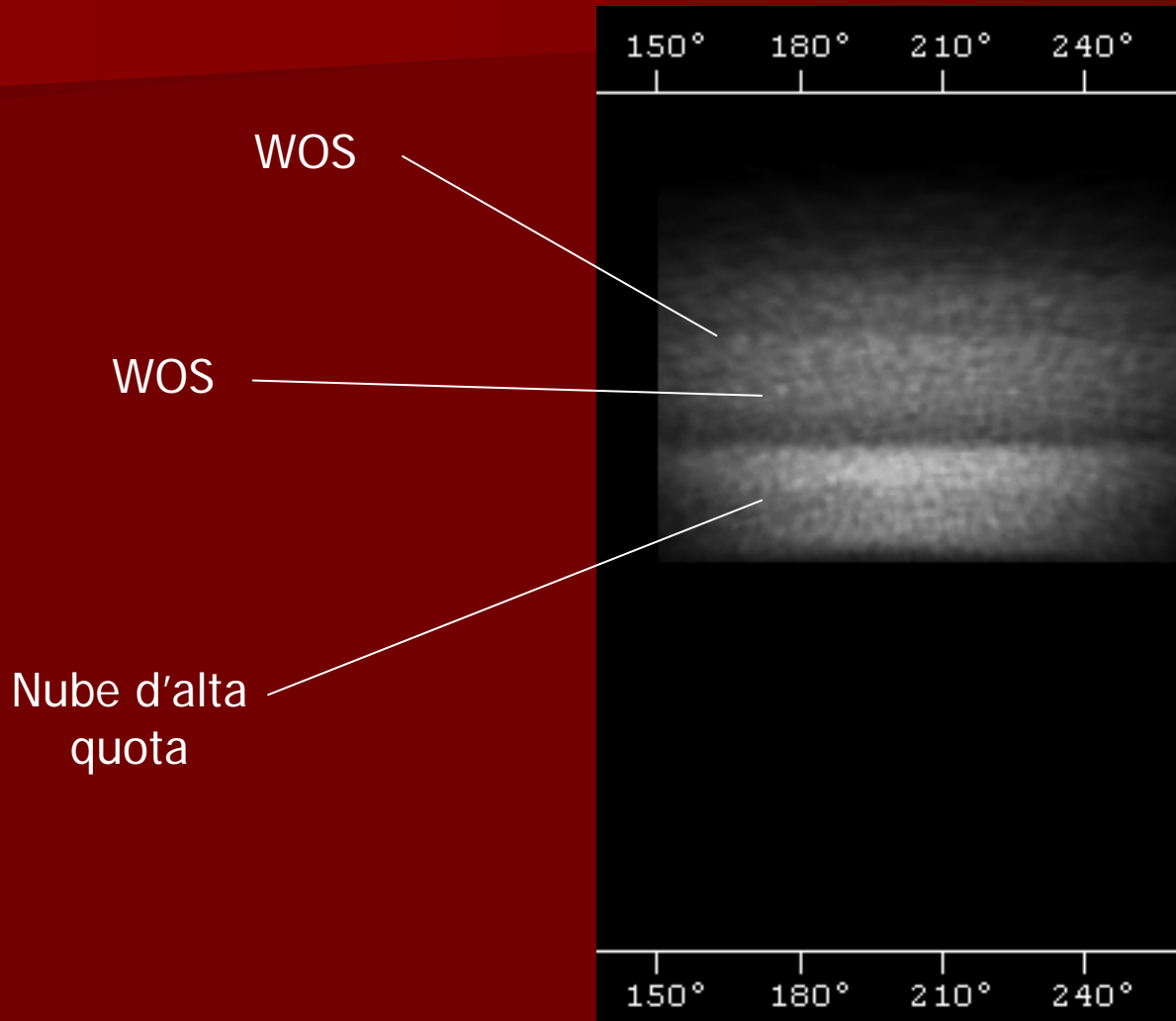


Latitude scales planetocentric, Longitudes in system II

Saturno 9 Gennaio 2005 1U 00:14
Proiezione cilindrica (sud in alto).

Diego Barucco

Elaborazione 2



La condizione favorevole dell'estate ci permette di osservare eventuali dettagli dell'attività turbolenta della superficie.

Le prossime eruzioni

- Se è confermata la ciclicità allora dovremmo aspettarci la prossima eruzione nel 2018 – 2020
- Ma non è da escludere fenomeni di minore intensità nei prossimi anni quanto terminerà l'estate al polo sud verso la fase di equinozio

