

VARIAZIONI STAGIONALI DELLE BANDE DI SATURNO

E. & P. Sassone Corsi

Abstract One of the chief aspects in the planetary observations is the capability of pointing out possible seasonal variations of the atmospheric structures.
In this paper, we present the issues coming out the analysis of a set of photograms of planet Saturn between 1909 and 1975.
The most important outcome is the existence of a seasonal variation of the polar region latitude of the planet.

1. Introduzione.

Una parte fondamentale dello studio delle atmosfere planetarie è relativo alle modificazioni strutturali e morfologiche che queste subiscono a causa delle periodicità stagionali.

Modificazioni di questo genere, come è noto, sono evidenti per la Terra e Marte e sono state abbondantemente descritte e studiate. Basti ricordare le formazioni nuvolose e i venti periodici terrestri e le calotte polari di Marte e Terra.

Anche per quanto riguarda Giove sono stati evidenziati numerosi fenomeni atmosferici periodici. I regolari cambiamenti di intensità della macchia rossa, i movimenti differenziati delle white oval spots nella Regione Temperata Sud e i periodi smi dell'attività globale dell'atmosfera sono i principali fenomeni che fanno supporre che anche su Giove, nonostante la grande distanza dal Sole e la lieve inclinazione dell'asse di rotazione, esistano variazioni di tipo stagionale nell'atmosfera.

Per quanto riguarda Saturno tali tipi di variazioni stagionali non sono state messe ancora in evidenza.

Sono tre i principali fattori che possono influenzare un'eventuale attività periodica stagionale dell'atmosfera di Saturno :

- la distanza dal Sole;
- l'inclinazione dell'asse di rotazione;
- la presenza degli anelli.

L'elevata distanza di Saturno dal Sole, quasi doppia di quella di Giove, potrebbe portare i fenomeni stagionali a livelli trascurabili. Inoltre, per lo stesso motivo, eventuali modificazioni atmosferiche potrebbero risultare di difficile rilevazione.

D'altra parte, l'elevata inclinazione dell'asse di rotazione ($\sim 27^\circ$) è certamente un elemento che dovrebbe rendere le variazioni atmosferiche stagionali di maggiore ampiezza; inoltre, la presenza degli anelli, che eclissano periodicamente le regioni del globo già meno esposte ai raggi solari, è un fattore che amplifica le eventuali modificazioni stagionali (∇).

(∇) - E' stato stabilito che l'insolazione annuale totale è ridotta, a causa degli anelli, del 14% [1].

Uno studio approfondito sulle condizioni variabili d'illuminazione dell'atmosfera è stato effettuato da Brinkman e McGregor [1].

Le eventuali alterazioni visibili nell'atmosfera di Saturno generate da periodismi stagionali possono essere suddivise nelle tre categorie seguenti:

- a) variazioni di latitudine delle bande;
- b) variazioni di intensità e/o colore delle diverse regioni;
- c) comparsa ed evoluzione periodica di formazioni atmosferiche peculiari.

Le conoscenze acquisite con le ultime esplorazioni spaziali Pioneer e Voyager [5,6] possono fortemente influenzare questo tipo di classificazione che è basata solo su osservazioni terrestri.

Ciononostante siamo convinti che lo studio delle variazioni suelencate, su archi di tempo prolungati, ha una validità incontestabile; ciò in quanto le strutture atmosferiche osservate da Terra sono state confermate dalle missioni spaziali e sono state, grazie ad una risoluzione di gran lunga maggiore, separate in componenti atmosferici di dimensioni più ridotte. Infatti la distanza temporale fra i passaggi delle sonde non consente l'individuazione di possibili variazioni stagionali, ma permette una visione molto più nitida delle condizioni reali dell'atmosfera.

In modo particolare la sonda Voyager I ha incontrato Saturno durante la primavera precoce dell'emisfero Nord, cioè in un periodo in cui le presumibili differenze stagionali sono minime. Nel corso di questa missione non sono state osservate differenze sostanziali nel profilo dei venti per i due emisferi.

In questo lavoro si intendono esporre i risultati di uno studio concernente le eventuali variazioni periodiche delle latitudini delle bande di Saturno.

Già E.J. Reese [2] ha effettuato un simile studio prendendo in considerazione 47 fotogrammi eseguiti tra il 1909 e il 1970; la distribuzione di questi nel tempo però, non è soddisfacente; in particolare esistono pochissime rilevazioni riguardanti l'emisfero Nord del pianeta; inoltre non è stata eseguita alcuna analisi statistica sulle misure a disposizione. Le conclusioni di Reese discordano in parte con quelle proposte in questo lavoro probabilmente per la maggior quantità di rilevazioni effettuate in questa sede e per i diversi criteri di analisi.

2. Raccolta ed analisi dei dati.

Questo studio è stato possibile grazie all'abbondante documentazione fotografica custodita nel Planetary Photograph Center dell'International Astronomical Union presso l'Osservatorio Astrofisico di Meudon (Parigi).

La documentazione fotografica utilizzata consiste in 238 fotogrammi prevalentemente nella regione gialla dello spettro distribuiti in maniera ragionevolmente uniforme dal 1909 al 1975 (fig. 1).

I fotogrammi utilizzati sono risultati tutti di buona qualità e provengono dai seguenti Osservatori:

Athenes, Juvisy, Lick, Lowell, McDonald, St. Martin de Peille, New Mexico, Pic di Midi, Table Mountain.

A causa della disposizione geografica di questi Osservatori, tutti localizzati nell'emisfero boreale terrestre, circa 2/3 delle fotografie selezionate sono state ottenute quando l'angolo formato tra il piano equatoriale di Saturno e la Terra (angolo che sarà indicato nel seguito con B) ha valori positivi; in queste condizioni, infatti, il pianeta risulta più alto sull'orizzonte e quindi meglio osservabile.

Il lavoro svolto presso l'Osservatorio di Meudon nel settembre 1978, è consistito nella selezione e nell'analisi della documentazione fotografica necessaria.

L'analisi dei fotogrammi è stata effettuata micrometricamente e fotodensitometricamente mediante un microdensitometro Joyce-Loebl.

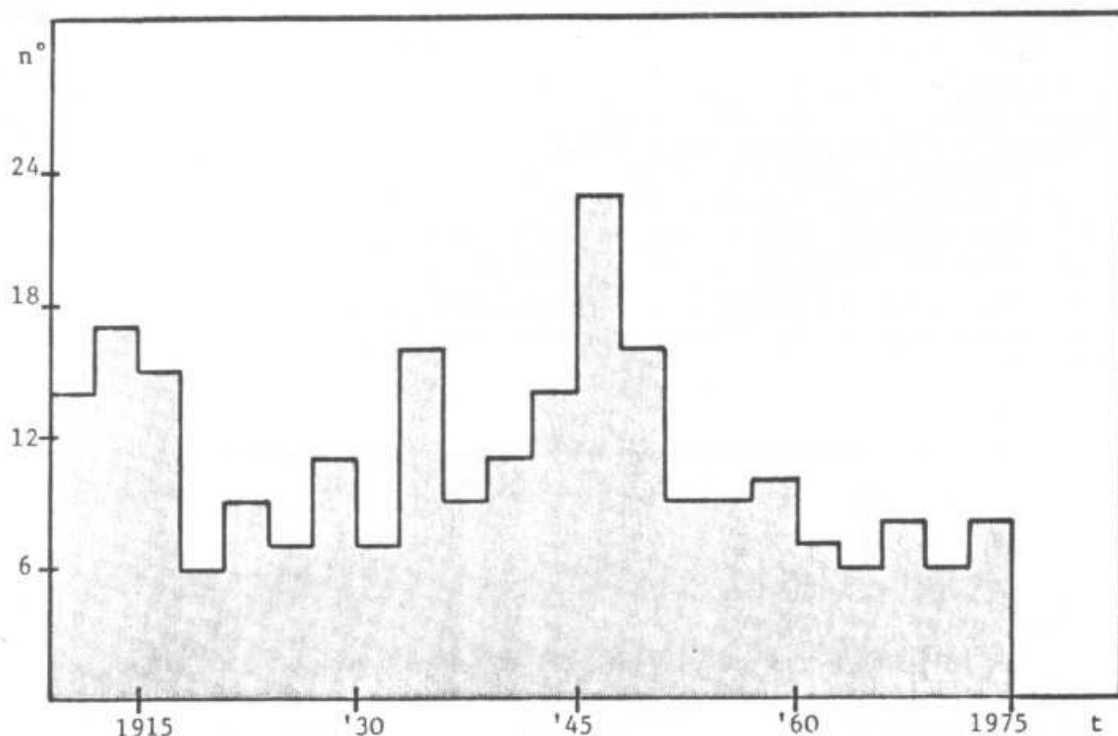


Fig. 1 - Istogramma delle frequenze dei fotogrammi utilizzati in funzione del tempo

Per ogni fotogramma è stata misurata l'ampiezza in millimetri dell'asse polare del pianeta e le posizioni delle bande rispetto al centro del globo. Da tali valori sono state calcolate le latitudini saturnigrafiche utilizzando le seguenti espressioni trigonometriche [2]:

$$\beta' = \Theta + D' \quad (1)$$

dove β' è detta latitudine eccentrica media; gli elementi al secondo membro dell'espressione sono dati dalle due seguenti:

$$\sin \Theta = \frac{y}{R_{pol}}$$

$$\operatorname{tg} D' = \frac{R_{eq}}{R_{pol}} \operatorname{tg} B$$

dove y è la misura in millimetri della posizione sul globo del particolare di cui si desidera la latitudine, R_{eq} e R_{pol} sono i raggi equatoriale e polare del pianeta in millimetri.

Dalla (1) si ottiene la latitudine saturnicentrica mediante la seguente:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \beta'}{\frac{R_{eq}}{R_{pol}}}$$

e la latitudine saturnigrafica β'' :

$$\operatorname{tg} \beta'' = \frac{R_{eq}}{R_{pol}} \operatorname{tg} \beta'$$

In questo lavoro tutte le latitudini si intendono saturnigrafiche. Fissando il rapporto R_{eq}/R_{pol} in 1.12, è possibile costruire la famiglia di curve che, in fun-

zione di B, mette in relazione y/R_{p01} con la latitudine saturnigrafica β'' (fig.2).

Bisogna tener presente infine che, a causa della presenza degli anelli che occultano parte del globo periodicamente, non è possibile seguire l'andamento di una zona dell'atmosfera di Saturno lungo tutta l'orbita del pianeta attorno al Sole. In fig. 3 si riporta un diagramma che mostra la visibilità teorica del globo di Saturno in funzione di B. L'occultazione del globo, in effetti, è superiore a quella teorica e dipende dalla tecnica osservativa utilizzata (cioè dal potere risolutivo) e dalla presenza dell'ombra degli anelli sul globo.

Le analisi statistiche dei dati a disposizione sono state effettuate mediante l'uso di un elaboratore UNIVAC 1100/80 utilizzando il linguaggio di programmazione FORTRAN.

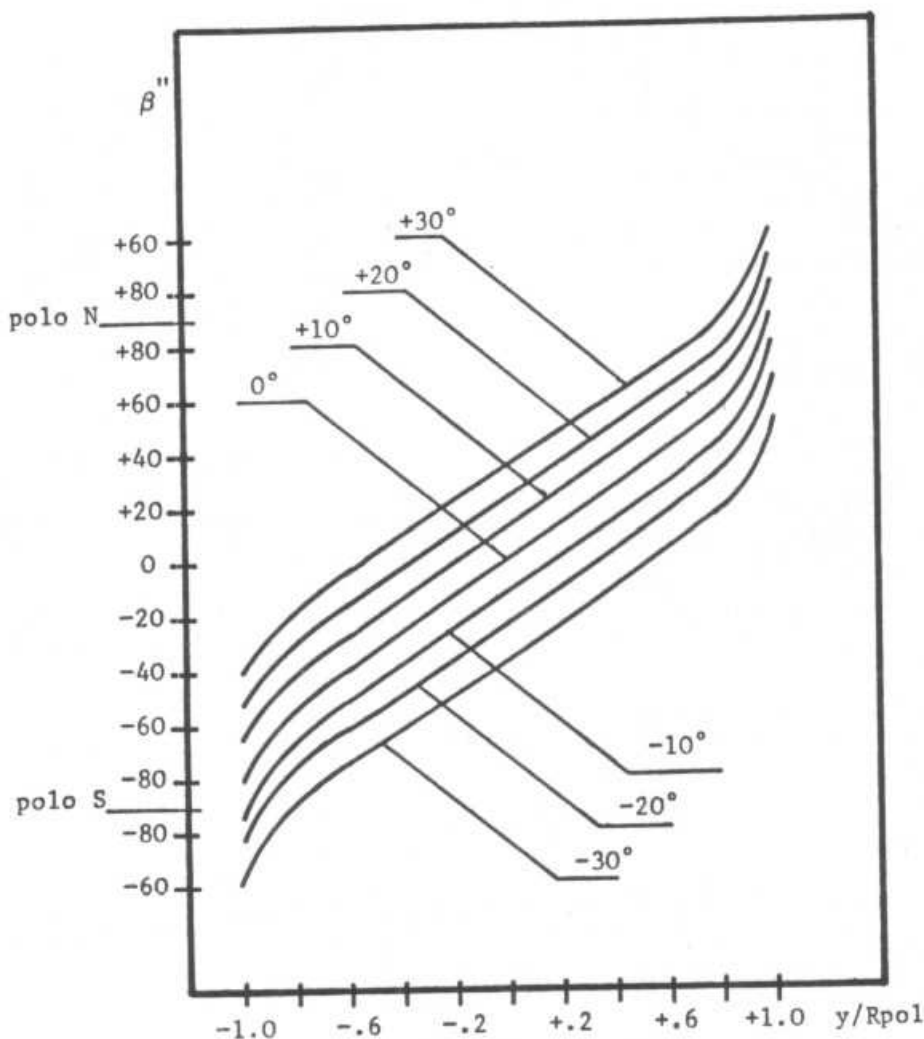


Fig. 2 - diagramma che, in funzione di B, mette in relazione y/R_{p01} e la latitudine saturnigrafica β'' (si è assunto il rapporto $R_{eq}/R_{p01} = 1.12$)

3. Risultati.

3.1 Latitudini medie delle principali bande di Saturno.

Sono state determinate le latitudini medie dei bordi delle principali bande di Saturno a partire dai 238 fotogrammi utilizzati. I risultati di queste misure sono

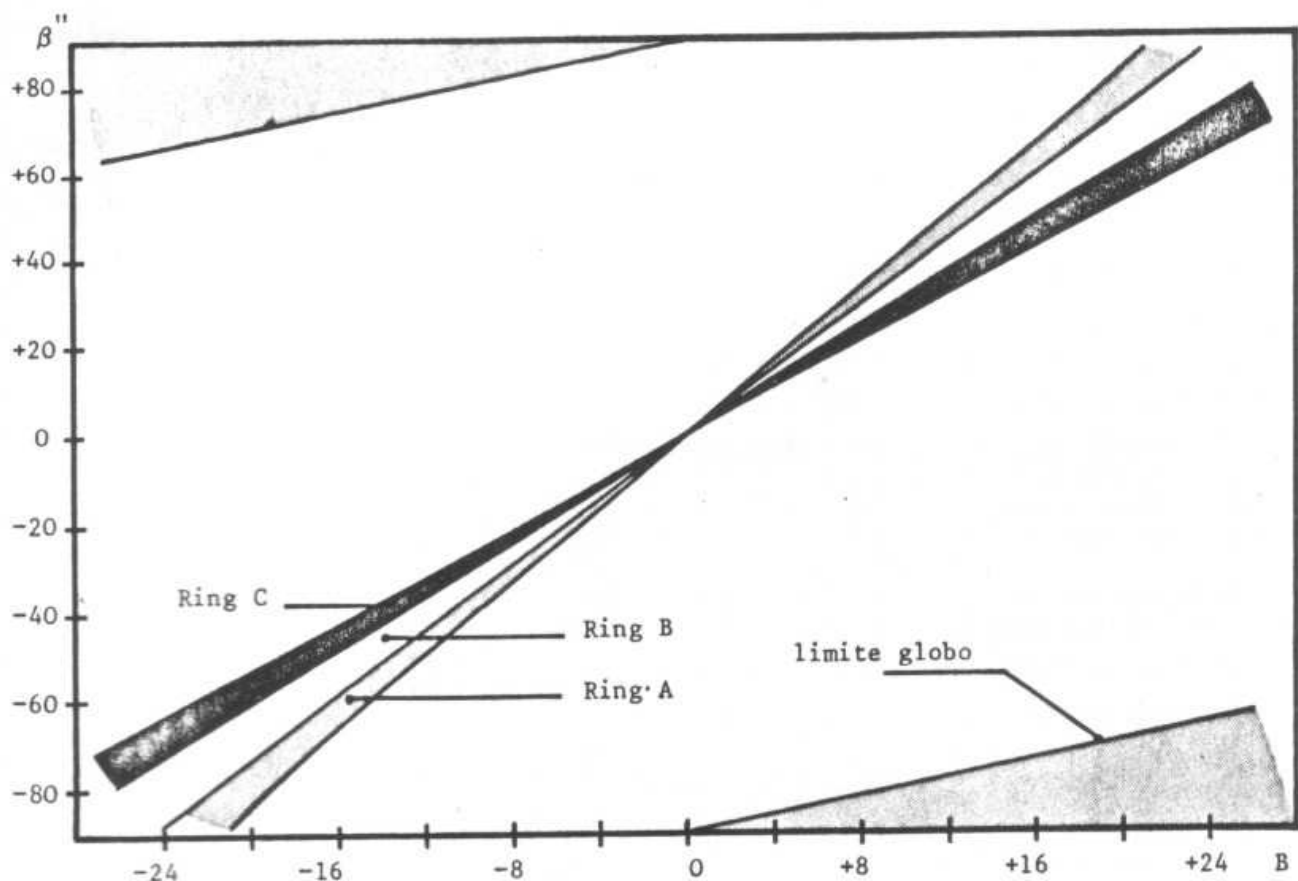


Fig. 3 - Visibilità del globo di Saturno. Il diagramma è stato ottenuto fissando i seguenti valori per il diametro polare e le ampiezze degli anelli [2] [4]:
 $\phi_{pol} = 15''.51$ $A_{out} = 39''.48$ Cassini div. = $34''.50$
 $B_{inn} = 26''.59$ $C_{inn} = 21''.24$.

riportate in Tab. I con i relativi errori e comparati con quelli di Reese [2].

Le medie di Reese riportate in tabella non si riferiscono all'intero periodo 1909-1970, ma sono così suddivise:

- emisfero Sud e zona equatoriale : 1941 - 1970
- emisfero Nord : 1950 - 1967
- zona polare Nord : 1933 - 1962

Come si può notare, il confronto, nonostante tali diversità, è abbastanza soddisfacente.

3.2 Variazione di latitudine delle calotte polari.

Nelle figure 4-7 vengono riportati gli andamenti delle principali bande di Saturno in funzione dell'angolo formato tra il piano equatoriale del pianeta e il Sole (B'). Tale tipo di rappresentazione equivale a mettere in relazione la latitudine delle varie bande con la posizione orbitale del pianeta; infatti, ad ogni valore di B' corrispondono due posizioni simmetriche sull'orbita, per le quali è ipotizzabile, almeno in prima approssimazione, una medesima condizione atmosferica globale.

Per quanto riguarda le bande equatoriali NEB e SEB (figure 4 e 5), si può osservare che le eventuali variazioni di latitudine sono minori degli errori presenti all'atto delle misurazioni.

Tab. I - Le misure presentate in questo lavoro sono confrontate con quelle di Reese [2]. Per ogni misura vengono indicati l'errore (il doppio dello scarto quadratico medio) e il numero di rilevazioni effettuate. Come si nota, l'errore indicato da Reese, nonostante sia determinato su un numero di rilevazioni molto più limitate, risulta di gran lunga minore del nostro. Ciò fa supporre che sia stato usato un criterio diverso di indicazione dell'errore.

| Denominazione | lim | 1909-1975 | n° | misure Reese | | n° |
|--------------------|-----|---------------|-----|---------------|----|----|
| S. Polar Cap | n | - 75°.7 + 3.4 | 62 | - 75°.8 + 0.4 | | 6 |
| S. Polar Region | n | - 60°.6 + 3.5 | 113 | - 61°.8 + 0.4 | | 7 |
| SS.Tempered Belt | c | - 49°.4 + 2.0 | 18 | - 47°.8 + 0.5 | }n | 5 |
| S. Tempered Belt | s | - 39°.5 + 5.3 | 71 | - 43°.3 + 0.4 | | 5 |
| S. Tempered Belt | n | - 33°.4 + 3.1 | 39 | - 36°.0 + 0.7 | | 7 |
| S. Equatorial Band | s | - 27°.2 + 3.4 | 120 | - 32°.0 + 1.2 | | 2 |
| S. Equatorial Band | n | - 13°.9 + 3.9 | 154 | - 27°.6 + 0.6 | | 9 |
| N. Equatorial Band | s | + 14°.2 + 3.4 | 118 | - 14°.9 + 0.9 | | 9 |
| N. Equatorial Band | n | + 27°.6 + 3.5 | 115 | + 14°.2 + 0.7 | | 6 |
| NN.Tempered Belt | c | + 43°.7 + 6.7 | 2 | + 26°.5 + 0.7 | }n | 6 |
| N. Polar Region | s | + 56°.5 + 4.7 | 50 | + 44°.9 + — | | 1 |
| N. Polar Cap | s | + 73°.7 + 4.8 | 46 | + 50°.2 + — | | 1 |
| | | | | + 66°.7 + 2.2 | | 6 |

Ciò comporta che l'andamento delle latitudini di tali bande è, non considerando le fluttuazioni di tipo statistico, sostanzialmente parallelo all'asse x dei periodi.

In figure 6 e 7 sono riportati gli andamenti delle latitudini dei bordi delle calotte polari Sud e Nord.

In questo caso è possibile notare una variazione sostanziale della latitudine rispetto alla posizione orbitale; tale variazione è più che doppia rispetto all'errore medio commesso sulle misure.

Dal grafico è possibile osservare che l'estensione delle calotte ha un minimo quando B' assume valori numerici assoluti elevati; l'estensione delle calotte, invece, è massima quando B' è prossimo a 0°.

Tali variazioni di latitudine sono, evidentemente, da mettere in relazione con gli effetti periodici di tipo stagionale.

Allo scopo di interpretare quantitativamente, oltre che qualitativamente, il fenomeno, si è effettuata un'analisi statistica assunto che la funzione periodica che meglio interpola gli andamenti di fig. 6 e fig. 7 sia, almeno in prima approssimazione, una semplice sinusoidale del tipo :

$$f(t) = c_1 \cos \frac{2 \pi t}{p} + c_2 \sin \frac{2 \pi t}{p} \quad (2)$$

dove c_1 e c_2 sono i pesi che determinano l'ampiezza ($A = \sqrt{c_1^2 + c_2^2}$) e la fase ($\tan \varphi = c_2/c_1$); P è il periodo della sinusoidale.

Applicando il metodo dei minimi quadrati alla (2) si possono ricavare i coefficienti c_1 e c_2 , una volta fissato il periodo P, nel modo seguente :

$$c_2 = \frac{A E - B C}{A D - B^2}$$

$$c_1 = \frac{C - c_2 B}{A}$$

dove, indicando con (t_j, y_j) le coppie di dati da interpolare :

$$\begin{aligned}
 A &= \sum_j \cos^2 \frac{2\pi t_j}{P} & B &= \sum_j \cos \frac{2\pi t_j}{P} \sin \frac{2\pi t_j}{P} \\
 C &= \sum_j \cos \frac{2\pi t_j}{P} & D &= \sum_j \sin^2 \frac{2\pi t_j}{P} \\
 E &= \sum_j \sin \frac{2\pi t_j}{P} y_j
 \end{aligned}$$

Questo procedimento per il calcolo della sinusoide è stato iterato ponendo diversi valori al periodo P fino a trovare la sinusoide che meglio interpola i punti sperimentali di fig. 6 e fig. 7, cioè che minimizza lo scarto quadratico medio.

I valori risultanti da questa analisi sono i seguenti :

$$\begin{aligned}
 P &= 0.79 \pm 0.30 \\
 c_1 &= 0.56 \pm 0.13 \\
 c_2 &= 3.58 \pm 0.34
 \end{aligned}$$

Come si può notare, considerando l'approssimazione dovuta agli errori sperimentali, il valore del periodo si può ritenere prossimo a 1, cioè pari ad una rivoluzione completa di Saturno attorno al Sole (~ 29 anni).

È interessante osservare che anche la fase :

$$\varphi = \arctang \frac{c_2}{c_1} = 81^\circ$$

è prossima a 90° ; ciò conferma che, come già anticipato qualitativamente, le estensioni delle calotte polari è minima quando B' tende a valori assoluti elevati e massima quando B' tende a 0° .

Infine, è possibile determinare l'ampiezza della sinusoide, che risulta essere pari a :

$$A = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} = 7.2 \pm 2.4.$$

3.3 Determinazione del rapporto A_{max}/R_{pol} .

Sintetizzando le misure effettuate per determinare le dimensioni degli anelli di Saturno [3] e quelle del presente lavoro, è stato possibile determinare il valore del rapporto Asse maggiore degli anelli / reggio polare :

$$\frac{A_{max}}{R_{pol}} = 5.1064 \pm 0.014$$

Il numero di fotogrammi utilizzati per determinare tale rapporto è 187; l'inclinazione saturnicentrica B dei fotogrammi utilizzati è variabile tra $-27^\circ \div -9^\circ$ e $+9^\circ \div +27^\circ$.

È possibile comparare tale risultato con quelli di altri Autori, come riportato di seguito :

$$\begin{aligned}
 \text{Dollfus (1970) [4]} &: 5.100 \pm 0.036 \\
 \text{Reese (1971) [2]} &: 5.00801 \pm 0.0084
 \end{aligned}$$

Il primo Autore ha utilizzato misure effettuate con un micrometro a doppia immagine, il secondo ha eseguito misure su fotogrammi della presentazione 1969-1970.

4. Discussione.

In questo lavoro vengono riportati i risultati riguardanti le latitudini delle principali bande di Saturno e del rapporto A_{max}/R_{pol} ricavati da fotogrammi selezionati tra il 1909 e il 1975. Tali risultati, descritti nelle sezioni 3.1 e 3.3, sono in buon accordo con precedenti determinazioni ottenute da altri Autori.

Il risultato principale di questo lavoro riguarda la determinazione delle variazioni di latitudine del bordo delle calotte polari di Saturno (sez. 3.2). Tali variazioni, come si è visto, sono da mettere in relazione con la posizione orbitale di Saturno e sono quindi da considerare come fenomeni periodici di tipo stagionale.

Periodicità simili, invece, non sono osservabili per le bande equatoriali del pianeta. Tale diversità di comportamento è evidentemente da mettere in rapporto alle differenti latitudini delle formazioni atmosferiche. Infatti, a latitudini elevate vi è una maggiore variabilità dell'illuminazione solare, anche a causa della presenza degli anelli.

Allo stato attuale risulterebbe di estremo interesse studiare eventuali altre modificazioni stagionali dell'atmosfera di Saturno, che confermerebbero le conclusioni qui proposte e aiuterebbero la comprensione del fenomeno; tali modificazioni di tipo periodico, come indicato nell'introduzione, potrebbero riguardare l'intensità e il colore delle bande e/o la comparsa di formazioni atmosferiche peculiari.

L'obiettivo finale di questo genere di ricerche potrebbe essere la costruzione di un modello chimico-fisico dell'atmosfera del pianeta, che tenga conto delle condizioni variabili d'insolazione e che spieghi i fenomeni stagionali qui presentati.

5. Ringraziamenti.

Siamo grati ai Proff. A. Dollfus e R. Servajean, rispettivamente Direttore dell'Osservatorio di Paris-Meudon e Responsabile dell'IAUPPC, per la cordiale ospitalità e le interessanti discussioni. Ringraziamo anche le Sig.re Neyvoz e Barthalot.

6. Bibliografia.

- [1] Brinkman, A.W., J. McGregor - The effect of the Ring System on the Solar Radiation Reaching the Top of Saturn's Atmosphere: Direct Radiation - Icarus 38, 479-482 (1979).
- [2] Reese, E.J. - Recent Photographic Measurements of Saturn - Icarus 15, 466-479 (1971).
- [3] Sassone Corsi E. & P. - Variazioni ottiche delle Dimensioni degli Anelli di Saturno - ASTRONOMIA, n.3 pp. 3-9 (1981).
- [4] Dollfus, A. - New Optical Measurements of the Diameters of Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune - Icarus 12, 101-117 (1970).
- [5] Dyer, J.W. - Pioneer Saturn - Science 207, 400-401 (1980) ed altri articoli sullo stesso volume.
- [6] Smith, B.A., et al. - Encounter with Saturn: Voyager 1 Imaging Science Results - Science 212, 163-191 (1981).

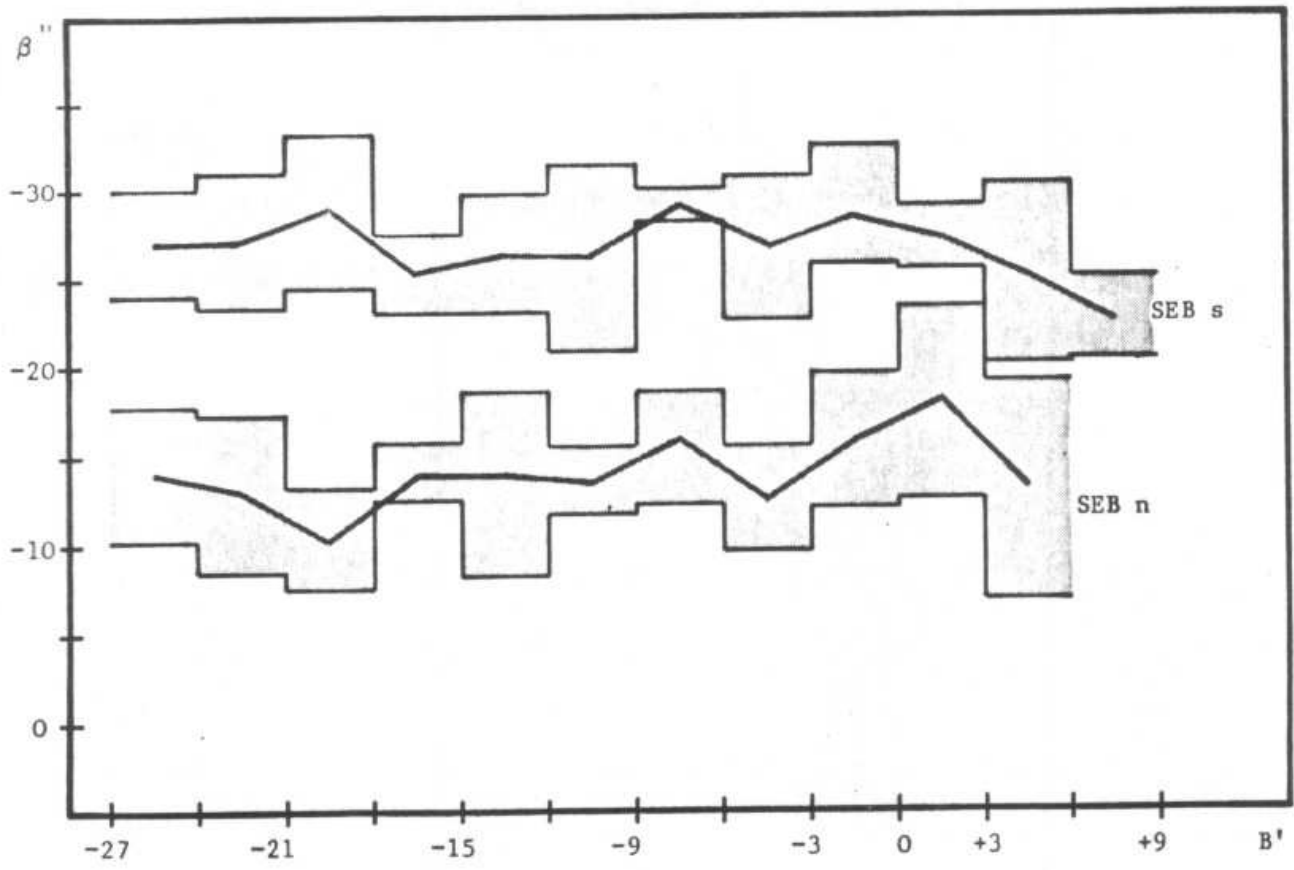
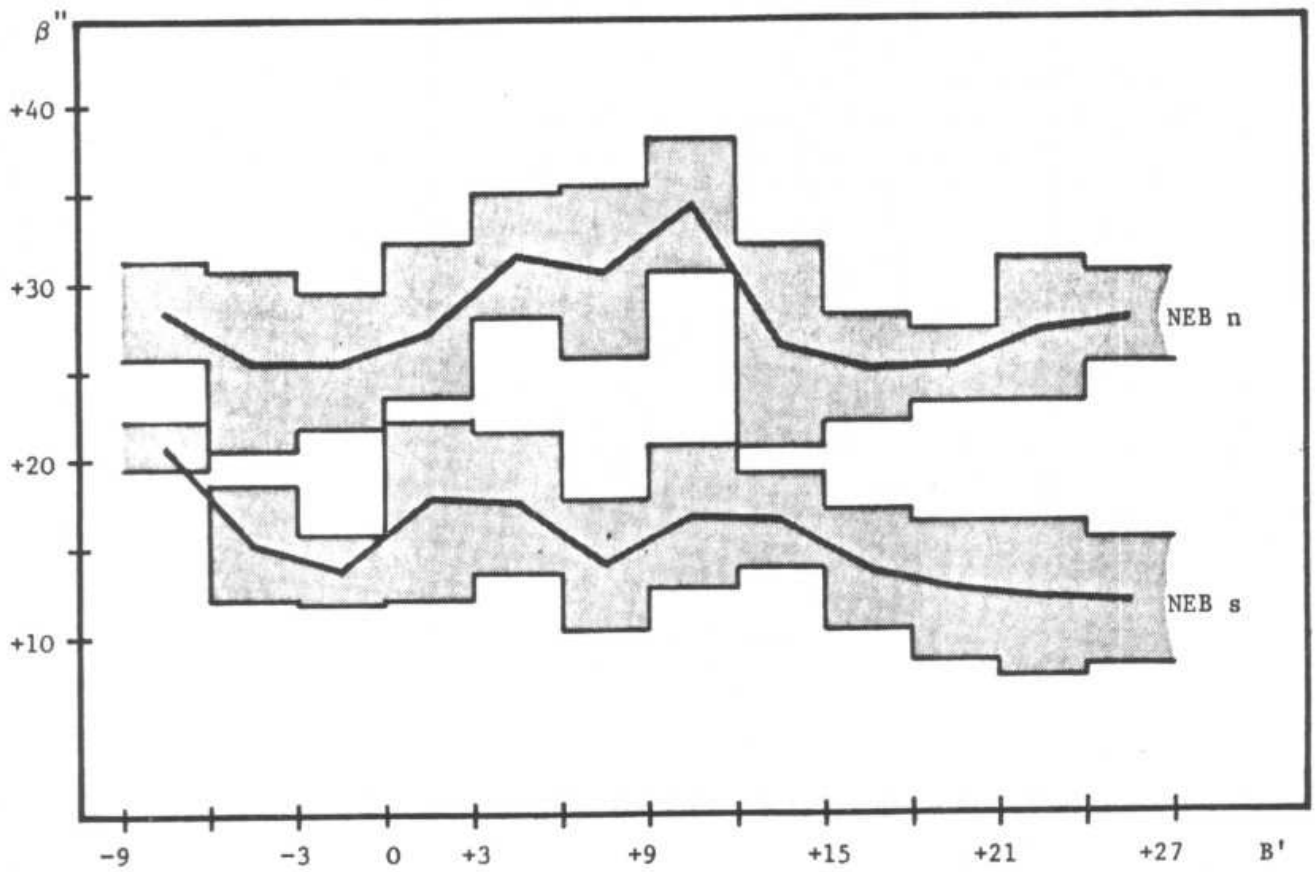


fig. 4 I bordi S e N della South Equatorial Belt in funzione di B' .

fig. 5 I bordi S e N della North Equatorial Belt in funzione di B' .



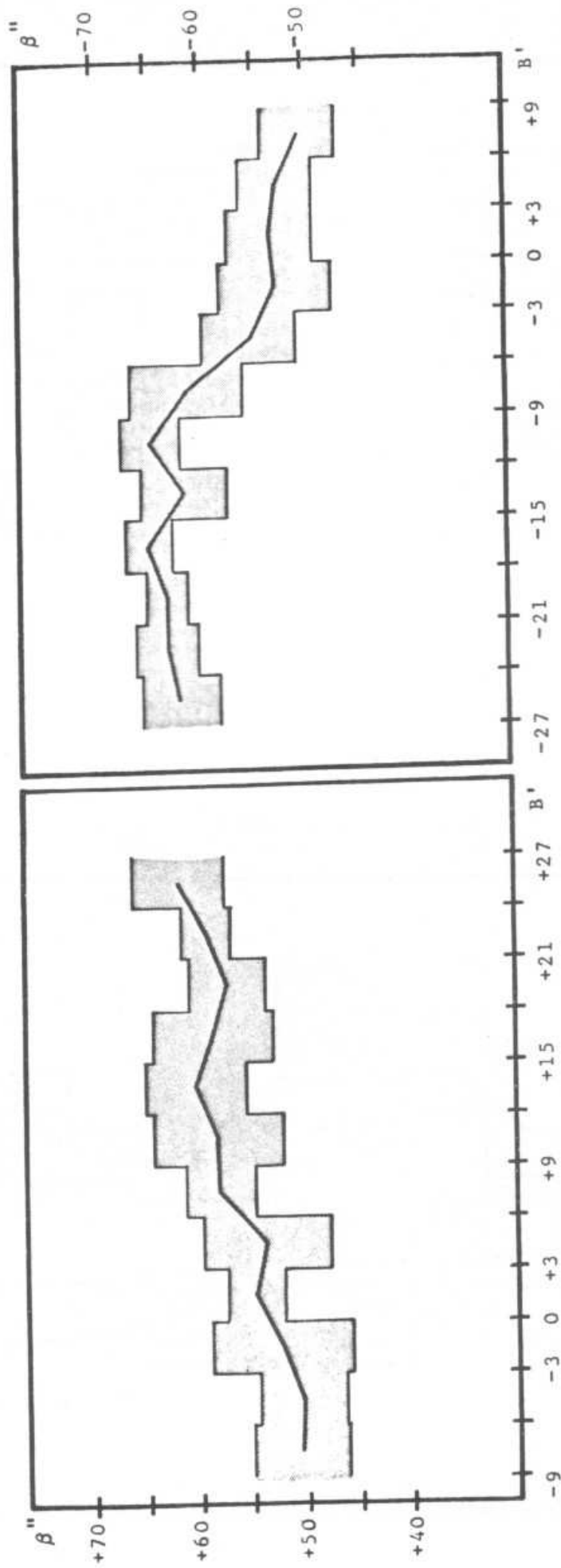


fig. 6 Il bordo N della South Polar Region in funzione di B' .

fig. 7 Il bordo S della North Polar Region in funzione di B' .