

La Calotta Polare Sud di Marte nel 1988

Marco Falorni

Sezione Pianeti UAI

Abstract. The paper reports on the martian south polar ices regression observed in 1988. An unique opportunity of study was given by the favourable circumstances of the apparition coupled with the availability of a large number of photographic images of excellent quality secured by the well-known japanese amateur Mr. I. Miyazaki. After a classic approach to the subject - the construction of the so called *regression curve* - the author tries a more

analytic study. Nine maps of the cap outline, each for a restricted interval of L_s , are presented. The cumulative overlap of these maps gives a detailed description of the ices shrinkage. On this basis a process of regression controlled by the ground is suggested, as well as a possible relationship between soil elevation and thickness of ice layers.

Introduzione

Nel corso dell'apparizione del 1988, una serie di circostanze, ben note all'osservatore di Marte, hanno consentito l'esecuzione di osservazioni della Calotta Polare Sud del pianeta, e della sua graduale regressione, nelle migliori condizioni possibili.

A queste circostanze, per quanto riguarda il lavoro della Sezione Pianeti dell'Unione Astrofili Italiani, va aggiunto l'importante contributo dato dal dilettante giapponese Isao Miyazaki. Egli ha fornito infatti ben 140 immagini fotografiche di straordinaria qualità, distribuite su un lungo periodo di tempo, ed esse sono alla base del presente studio.

Metodi di misura della Calotta Polare

Al fine di investigare gli eventi associati alla regressione della Calotta Polare Sud di Marte, il punto di partenza è dato dalla raccolta di molte misure della latitudine del suo bordo settentrionale durante il progredire della stagione estiva.

Vi sono due metodi per calcolare la latitudine del bordo della calotta: il primo, più consueto, è basato sulla misurazione della distanza tra il bordo della calotta ed i lembi Nord e Sud del pianeta lungo il Meridiano Centrale. Detti n ed s i valori rispettivi, la latitudine è data da:



Una delle fotografie di Marte utilizzate per il lavoro. La particolare mascheratura in fase di stampa è stata effettuata per rappresentare con evidenza il bordo del pianeta, per poter consentire le misurazioni. I. Miyazaki (Giappone), 27 agosto 1988, 16,25 Tempo Universale, Newton 40 cm, posa di 2 secondi su TP2415, senza filtri.

$$\theta = \arcsen[(s-n)/(s+n)] + \Delta\theta$$

in cui $\Delta\theta$ è la correzione da applicare in base alla latitudine del centro del disco del pianeta. Questo metodo ha il vantaggio indubbio che la misura è effettuata rispetto al punto meglio osservabile, ma il valore risultante, corrispondente a una particolare longitudine, ha poco significato rispetto all'intera calotta. Inoltre, esso ha lo svantaggio che la quantità s è spesso piccola, il che introduce grande incertezza nelle misure. Per quanto concerne l'osservazione visuale, il metodo è di difficile applicazione a causa di due sorgenti di

errore nei disegni: la posizione della calotta rispetto al lembo del pianeta e la sua estensione. Ne consegue che solo osservatori di grande esperienza possono produrre dati utili.

Per mezzo di questo metodo è stato ottenuto il grafico di Fig. 1. Esso mostra una dispersione così elevata che il risultato appare in effetti privo di significato. Tuttavia, occorre sottolineare che l'errore tipico delle misure prese sulle immagini di Miyazaki, dopo una correzione empirica derivata da un campione di stampe col bordo in evidenza, è di soli $0,4^\circ$ per valori di latitudine tra 65 e 71 gradi, $0,8^\circ$ tra 72 e 76 gradi, e $1,2^\circ$ per latitudini più elevate di 77 gradi. Ne consegue che l'elevata dispersione

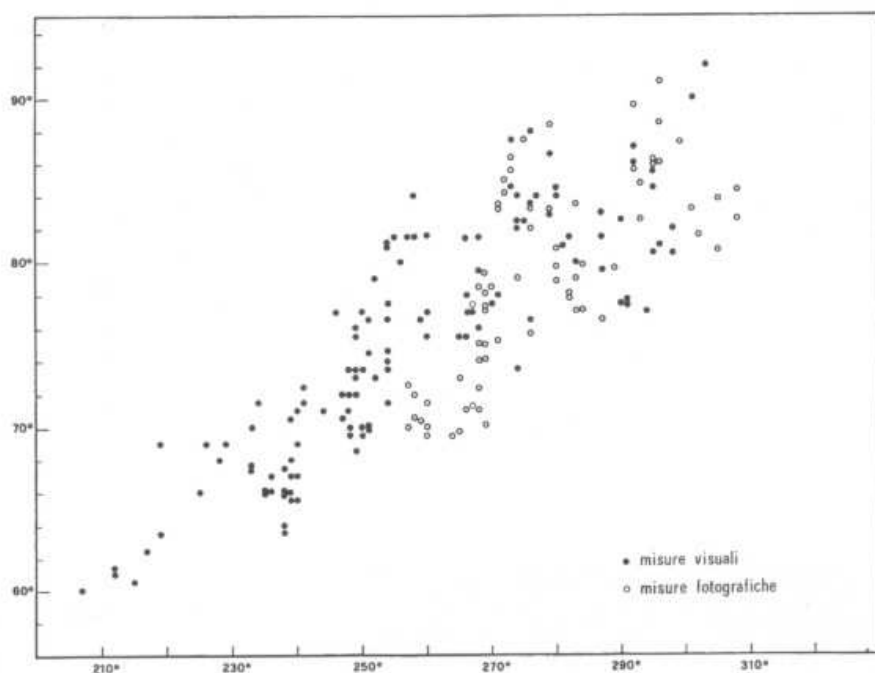


Fig. 1. Latitudine del bordo della calotta polare sud ricavata tramite misurazione lungo il meridiano centrale. I cerchi vuoti si riferiscono a misure effettuate su fotografie, quelli pieni a misure effettuate su osservazioni visuali. In ascissa la longitudine solare planetocentrica, L_s .

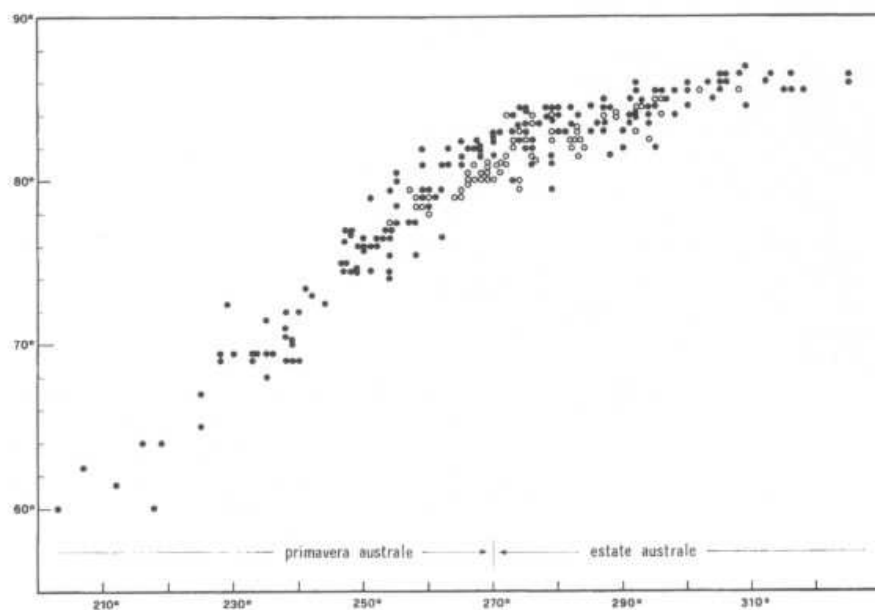


Fig. 2. Latitudine del bordo della calotta polare sud, sempre in funzione di L_s , ricavata dalle misurazioni dell'estensione est ovest della stessa. I simboli sono gli stessi della Fig. 1.

è legata a forti differenze locali nel profilo della calotta.

Il secondo metodo prevede la misurazione dell'estensione est ovest della calotta. Detta BC questa quantità e D il diametro del pianeta, la latitudine planetocentrica sarà con buona approssimazione:

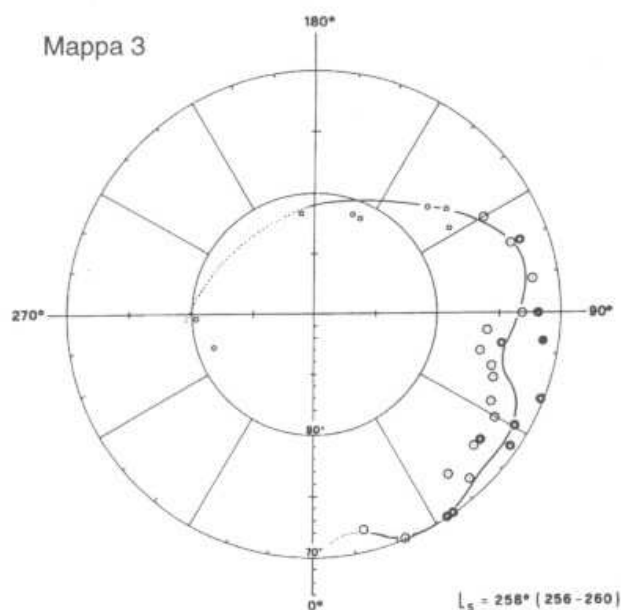
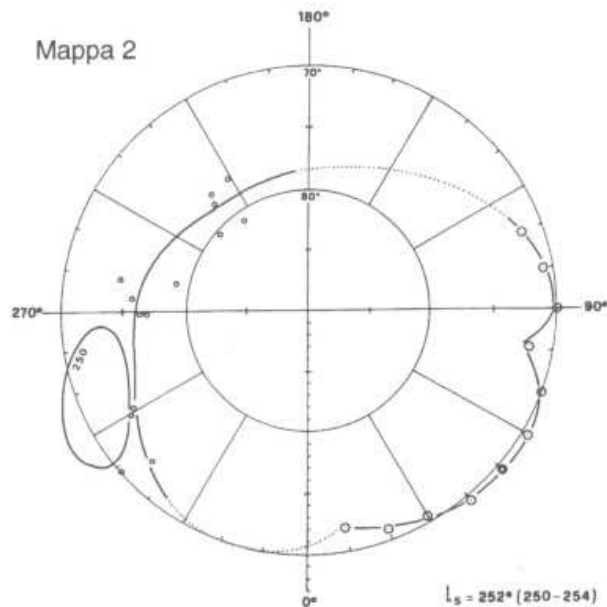
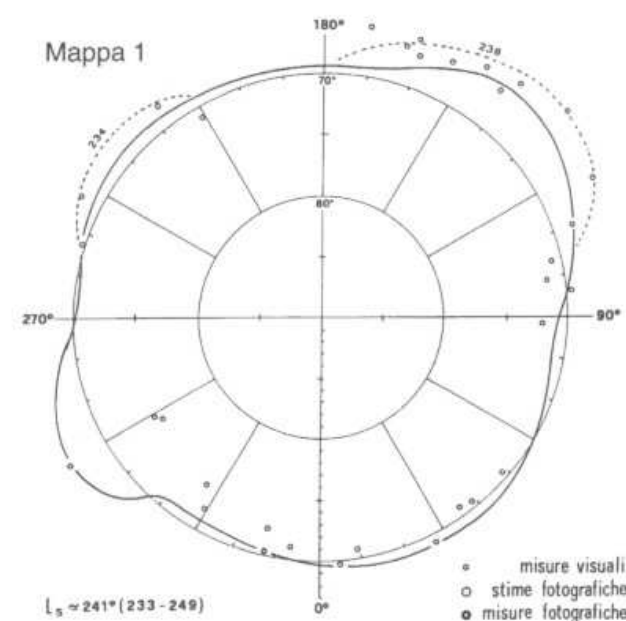
$$B = \arccos (BC / D)$$

Il metodo è favorito, rispetto al precedente, dall'elevato valore di BC rispetto a quello di s . Inoltre possono essere utilizzate più osservazioni

visuali a causa della ridotta influenza dell'errore di posizionamento della calotta. Di contro sussiste un'elevata incertezza circa ciò che effettivamente si misura: l'assorbimento atmosferico, l'effetto del seeing e le differenze locali intrinseche rendono queste misure quasi solo convenzionali.

Applicando questo metodo alle osservazioni disponibili, ovvero quelle utilizzate in precedenza più una selezione di molte osservazioni visuali con particolare riferimento alle serie più riuscite (Falorni, McKim, Giuntoli, Quarra, Di Giovanni, Tanga), si ottiene il grafico mostrato in Fig. 2. Esso

La Calotta Polare Sud di Marte nel 1988



Mappe 1-9. Forma del bordo della calotta polare per gli intervalli di L_s indicati. Le curve sono da intendersi indicative di un andamento medio. I cerchi piccoli si riferiscono a misure da osservazioni visuali, quelli col punto al centro a stime da immagini fotografiche, ottenute come descritto nel testo; i cerchi grandi rappresentano misure dirette su fotografie. Spiegazione dettagliata nel testo.

mostra una dispersione assai ridotta e un notevole accordo tra osservazioni visuali e fotografiche. Come ci si poteva attendere, confrontato con la Fig. 1 esso mostra uno spostamento sistematico verso latitudini più elevate.

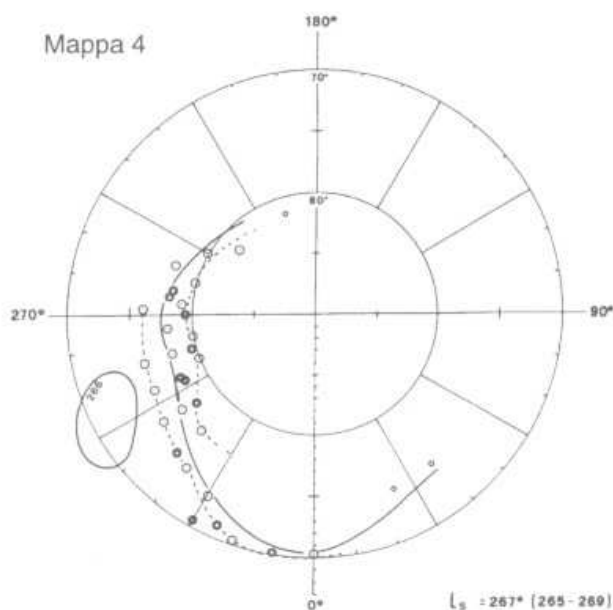
In ogni caso, se si assume costante l'incertezza associata alle misure, la caratteristica saliente è la pendenza del tratto rettilineo della curva di regressione, ovvero della tangente al suo flesso. Tale valore è considerato un indicatore dell'intera situazione climatica del pianeta, ma non fornisce nessuna informazione circa il reale processo di scioglimento dei ghiacci. In particolare ogni modulazione che la

curva di regressione dovesse mostrare (come avviene in alto a destra nella Fig. 2) sarebbe da ascrivere all'errore osservativo sistematico prodotto sia dall'eccentricità della calotta che dalle irregolarità locali nel suo bordo, come sarà chiarito più avanti.

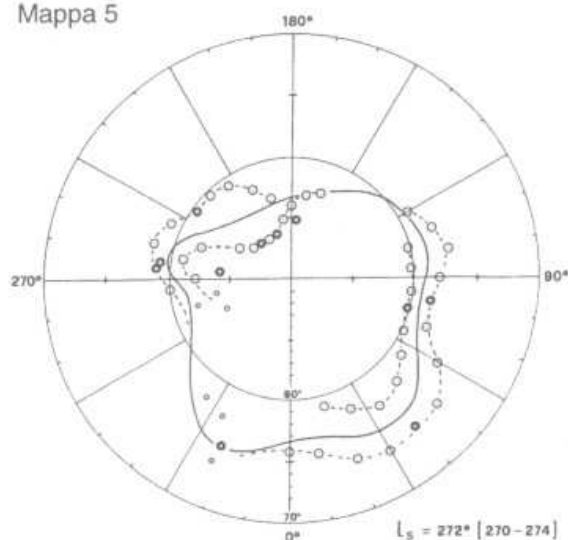
Misura e mappatura della forma della calotta

L'ampia raccolta di materiale osservativo, integrato con alcune buone riproduzioni di immagini CCD pubblicate su *Sky and Telescope* e altre fonti, ha suggerito un'analisi più approfondita del problema. A partire dalle affidabili misure fotografiche lungo il Meridiano Centrale, si è stimata la latitudine del

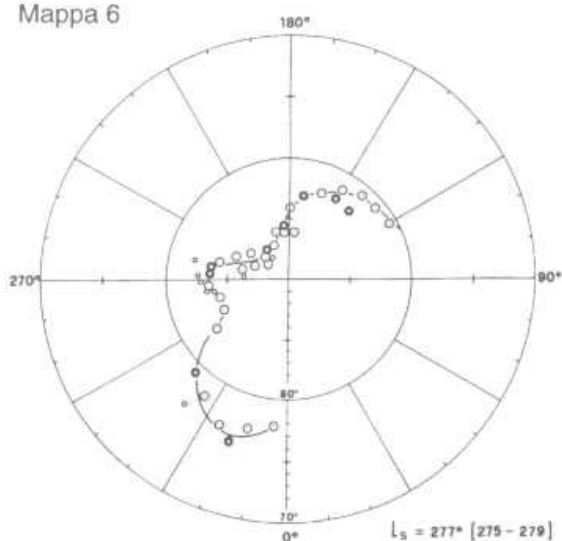
Mappa 4



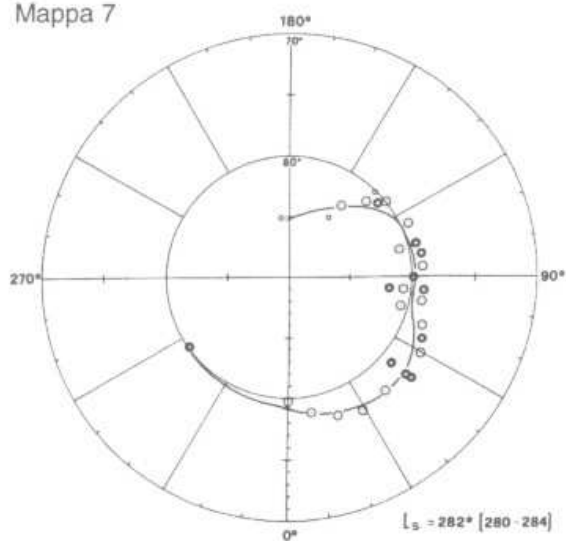
Mappa 5



Mappa 6



Mappa 7



bordo della calotta, approssimandola al grado più vicino, per mezzo di una serie di reticolati di coordinate costruiti per le varie declinazioni aerocentriche della Terra. In generale le stime sono state estese fino a 40 gradi di longitudine a est e a ovest del Meridiano Centrale. Tale modo di procedere si è rivelato molto dispendioso e delicato, a causa della difficoltà di sovrapporre il meridiano centrale della griglia con quello vero del pianeta. In alcuni casi fortunati, quando era disponibile una coppia di immagini separate da due o tre ore, il lavoro è stato facilitato dalla possibilità di un confronto incrociato. In questa fase si è rivelata molto utile la mappa foto-

grafica dell'Osservatorio Lowell (International Planetary Patrol) del 1969.

Eseguendo le stime, i problemi insiti nelle misure in direzione est ovest sono stati verificati con grande evidenza. Oltre una distanza dal Meridiano Centrale di 40° di longitudine la stima diveniva rapidamente inconsistente, mostrando un chiaro spostamento verso latitudini negative più elevate.

Nel complesso sono state analizzate 66 immagini fotografiche e CCD, e inoltre 80 misure dirette da disegni (eseguite lungo il Meridiano Centrale) tratte dalle serie degli osservatori più esperti, sono state prese in considerazione. Queste ultime si sono rive-

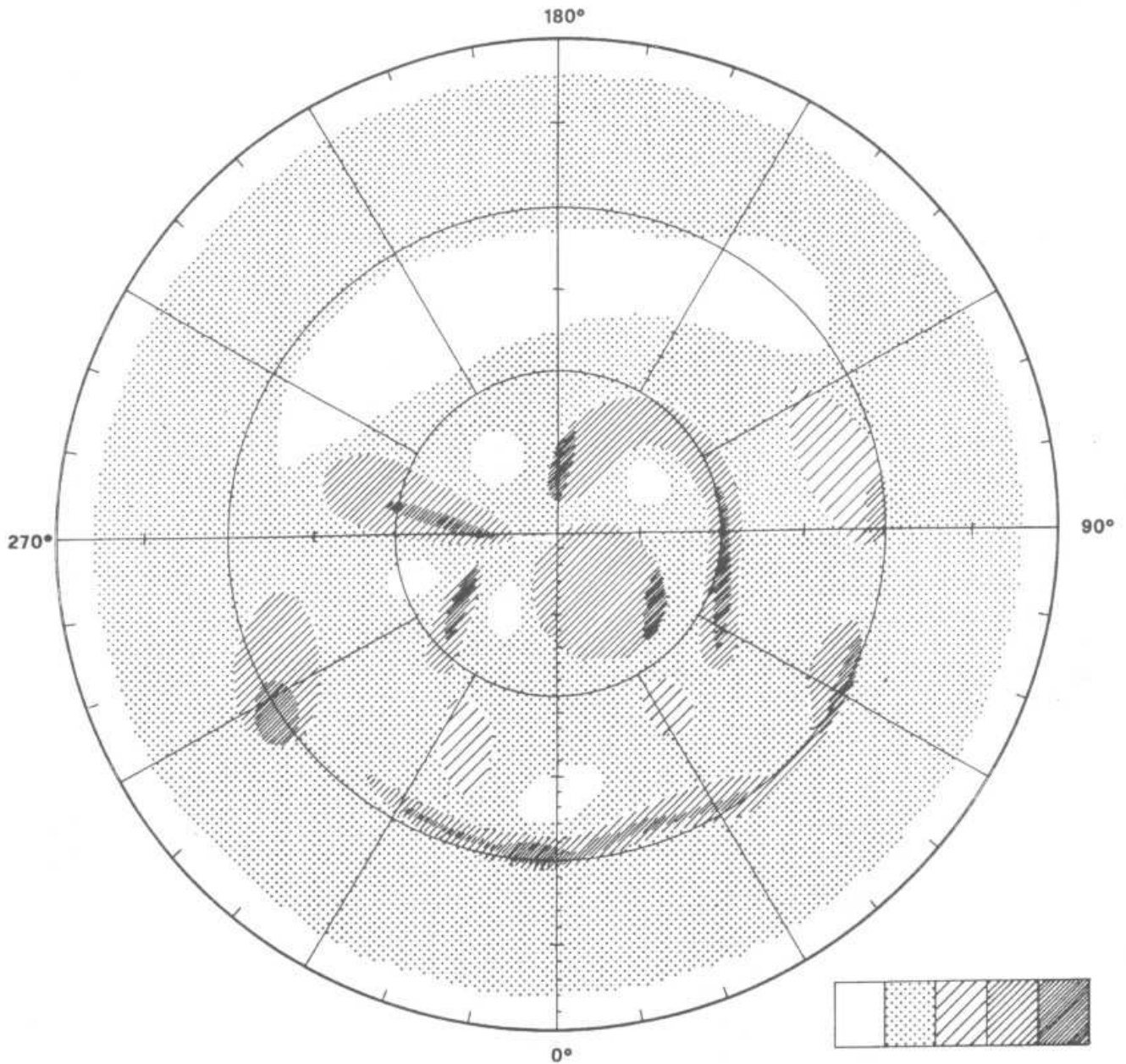


Fig. 4. Interpretazione qualitativa delle mappe della calotta come velocità locale di scioglimento dei ghiacci. Aree a tratteggio più scuro sono associate a zone di regressione più lenta.

due sezioni. La mappa mostra *Novus Mons* completamente staccato così come il contorno di *Argenteus Mons* in basso a destra. L'eccentricità della calotta appare già evidente.

Mappa 3 - Evidente l'eccentricità della calotta e l'estensione in corrispondenza di *Argenteus Mons*.

Mappa 4 - Il bordo della calotta è ritratto in un ampio intervallo prima del solstizio d'estate

dell'emisfero meridionale. Le *Montagne di Mitchel* sono ora piuttosto ridotte.

Mappa 5 - La mappa mostra il contorno della calotta subito dopo il solstizio d'estate dell'emisfero meridionale. Un'evidente estensione a circa 260° di longitudine è il particolare più rilevante.

Mappa 6 - La protuberanza visibile nella mappa precedente continua a essere evidente.

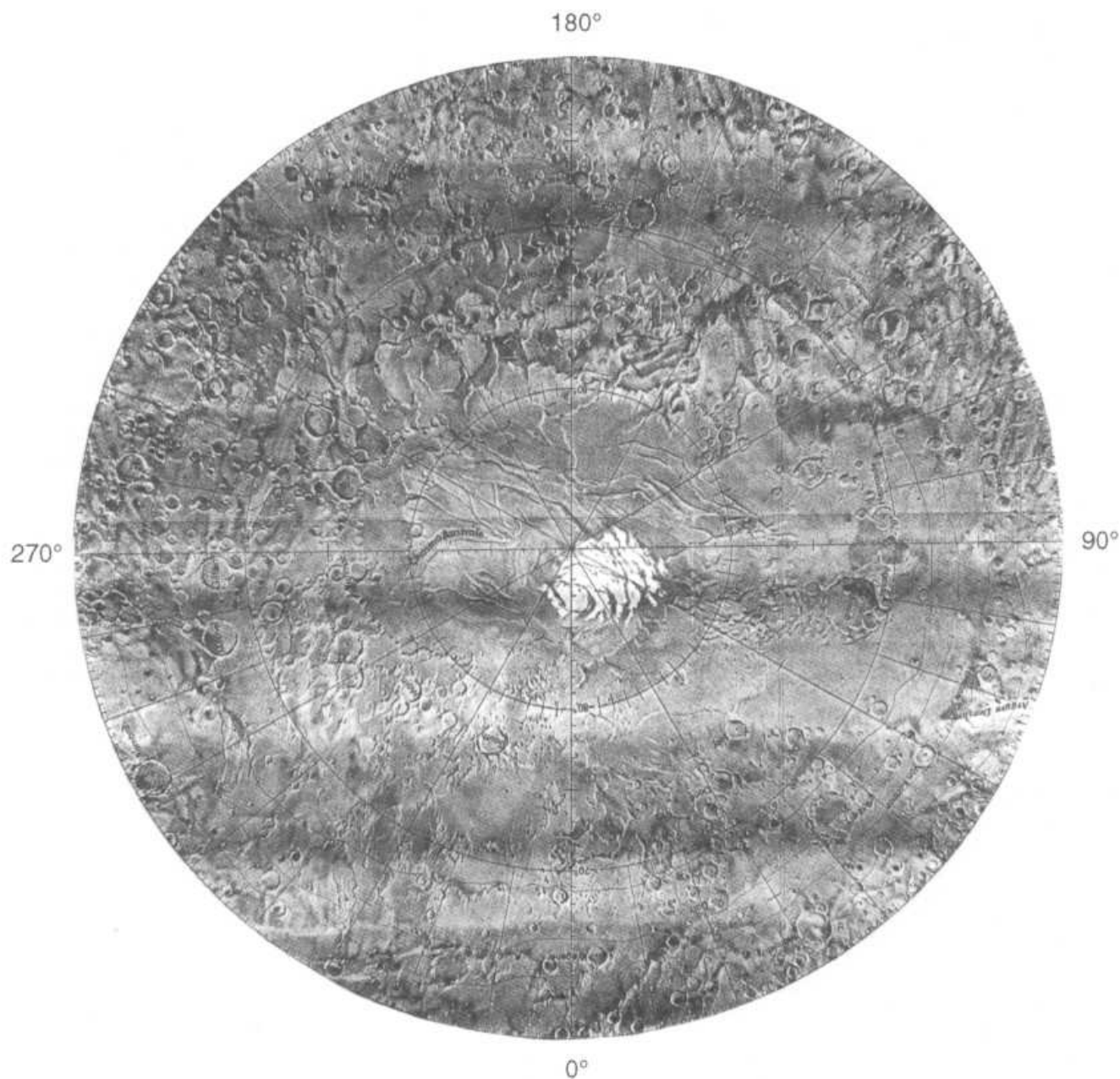


Fig. 5. La regione polare sud nella mappa dell'US Geological Survey. È rappresentato il residuo della calotta presso la minima estensione. Si confrontino la posizione di quest'ultimo e quella del Chasma Australe (presso 265° di longitudine, latitudine da -80° a -85°) con le aree di lenta regressione in Fig. 4.

Mappa 7 - È ben evidente una forte asimmetria della calotta rispetto al polo Sud.

Mappa 8 - Appare ancora visibile in questa mappa traccia della sporgenza mostrata nelle mappe 5 e 6, mentre il dettaglio più rilevante appare la profonda indentazione che raggiunge il Polo a circa 225° di longitudine.

Mappa 9 - Ricavata da un'unica fotografia di qua-

lità straordinaria di I. Miyazaki, la mappa mostra il residuo di calotta presso la fase di massimo restringimento, centrato a circa 35°, -86°, in ottimo accordo con la mappa dell'US Geological Survey che lo mostra a 30°, -87°.

Regressione della calotta e topografia della regione polare

Sovrapponendo le 9 mappe descritte si ottiene un quadro generale della calotta e del suo processo di

regressione. La mappa composita (Fig. 3) mette in evidenza alcune caratteristiche note e altre meno note. Tra le prime, menzioniamo l'asimmetria della calotta, già evidente nella tarda primavera dell'emisfero sud, e il classico aspetto ed evoluzione dei *Monti di Mitchel*.

Per quanto riguarda la protuberanza posta a 260° di longitudine, risulta quasi sorprendente la sua perfetta corrispondenza con il largo canyon *Chasma Australis* riportato nell'*US Geological Survey Map*. Questo riscontro positivo conferma l'attendibilità della mappa composita e incoraggia ulteriori considerazioni.

In particolare, è evidente che, là dove i contorni della calotta sono più ravvicinati, il processo di fusione deve essere risultato più lento; un rapido ritirarsi del bordo della calotta è al contrario indicato da contorni più spazati. È così possibile identificare regioni caratterizzate da maggiore inerzia alla regressione, le quali sono evidenziate in Fig. 4 secondo una scala arbitraria di 5 gradini (aree bianche per inerzia minore, scure per inerzia maggiore).

La sola correlazione significativa con la mappa dell'*US Geological Survey* è ancora quella del *Chasma Australis*, ma ciò può essere conseguenza del fatto che le linee di livello sembrano assenti dalle mappe del *Viking* a partire da 70 gradi di longitudine sud. D'altra parte, la natura permanente delle *Montagne di Mitchel*, così come la correlazione positiva trovata rispetto al *Chasma Australis*, esclude l'intervento di fattori esterni quali causa dell'apparire delle caratteristiche evidenziate durante il restringimento.

Infine, il comportamento dei ghiacci in corrispondenza di *Chasma Australis* chiarifica il ruolo dell'orografia marziana. Ignorando l'azione dei venti, il controllo esercitato dal *Chasma* sul processo di discioglimento suggerisce un deposito di ghiaccio più spesso in corrispondenza di un suolo a elevazione inferiore. Ciò è l'opposto di quanto avviene sulla Terra, ma è in accordo con un ambiente caratterizzato da una pressione atmosferica molto bassa nel quale la formazione di ghiaccio è favorita dalla massima disponibilità di sostanze volatili piuttosto che dalla temperatura, che resta comunque molto bassa, a partire dalle regioni temperate, in tutto il ciclo stagionale.

Se questa ipotesi è corretta, le *Montagne di Mitchel* e le altre regioni ad elevata inerzia di regressione, contrariamente a quanto lascerebbe intendere la nomenclatura, sarebbero da interpretare come depressioni del suolo. Al contrario le regioni dove il restringimento è più rapido corrisponderebbero a elevazioni.

Conclusioni

La delicatezza delle misure relative all'estensione delle calotte polari di Marte è confermata anche nel caso di un'apparizione favorevole come quella del 1988. Inoltre, le misure convenzionali non si sono dimostrate in grado di estrarre tutta l'informazione contenuta nelle immagini ad alta risoluzione del pianeta. Col procedimento descritto è stato infatti possibile ricostruire l'andamento locale della regressione del bordo della calotta. La mole di misure effettuate è stata ampiamente ripagata dal risultato, che propone chiari indizi di un'interessante relazione tra regressione e topografia marziana.

Si ritiene infine utile richiamare in questa sede la nota esigenza di poter ricevere, da parte di ciascun collaboratore, serie di osservazioni ricche e ben distribuite nel tempo. È necessario che gli osservatori prestino la massima attenzione al corretto posizionamento e dimensionamento della calotta, compatibilmente con le limitazioni imposte dal metodo e dalla geometria del pianeta, vista l'importanza delle informazioni che ne possono derivare.

L'autore desidera ringraziare tutti i collaboratori della Sezione Pianeti, il Direttore della *Mars Section* della *British Astronomical Association* R.J. McKim per l'interessante scambio di opinioni, e I. Miyazaki che ha inviato alcune copie delle fotografie eseguite con procedimento di stampa adatto a rendere possibili le misurazioni qui presentate.

Nota

Questo lavoro è stato oggetto di una presentazione tenutasi durante il Meeting Europeo degli Osservatori di Luna e Pianeti nel 1992 (MEPCO '92) a Violau (Baviera). Esso doveva rappresentare il primo di una serie di contributi che Marco Falorni si apprestava a preparare, se la sua malattia non glielo avesse impedito. I lettori avranno apprezzato la qualità e l'interesse scientifico, a dimostrazione del fatto che la competenza ed il metodo sono i reali punti di forza dell'osservazione planetaria amatoriale.

Paolo Tanga