Acquisizione digitale ed elaborazione numerica di immagini planetarie (II)

A. Leo, G. Quarra Sacco, D. Sarocchi

U.A.I. - Sezione Pianeti

Abstract. In the second part of this article the problem of date reduction, enhancement and analisis of CCD images are examined. Many examples of results got with electronical elaborations are given.

Elaborazione numerica

La fase successiva all'acquisizione ed alla memorizzazione delle immagini è il loro trattamento numerico. Possiamo suddividere questo momento del lavoro in almeno tre fasi distinte: **riduzione dei dati**, elaborazione finalizzata al **miglioramento della qualità** delle immagini ***(enhancement)*** ed **analisi** vera e propria che nel presente articolo verrà solo accennata.

Riduzione dei dati

Nella categoria delle riduzioni rientrano tutte le operazioni volte a normalizzare, calibrare e rendere un'immagine confrontabile, anche a livello fotometrico, con altre immagini. Vediamo quali sono le operazioni più importanti di questa fase: La sottrazione della *dark current* (corrente di buio) da ogni immagine serve ad eliminare in gran parte gli effetti dell'agitazione termica nel CCD, ossia del rumore strumentale elettronico indipendente dalla presenza di fotoni. Tale operazione consiste nell'acquisire immagini in totale assenza di luce con tempi identici a quelli con cui si effettuano le riprese astronomiche e nel sottrarle da queste ultime.

Altro intervento necessario è la correzione per il *bias*, che è una tensione aggiuntiva applicata al CCD dall'elettronica di controllo per evitare letture di voltaggio vicine allo zero. Il livello di bias viene misurato effettuando una lettura del CCD con tempo di esposizione zero e sempre in assenza di luce; anche in questo caso tale quantità deve essere sottratta dall'immagine originale.

L'operazione di *flat field* serve infine a correggere eventuali disomogeneità nella sensibilità dei vari pixel componenti il chip. Consiste nella ripresa di una superficie bianca uniformemente illuminata, che serve ad evidenziare tali differenze. La correzione vera e propria richiede la normalizzazione dell'immagine astronomica per comparazione con l'immagine di flat field.

Se inoltre l'immagine CCD deve servire per effettuare misure fotometriche diventa indispensabile ricorrere a delicate tecniche di calibrazione e normalizzazione volte a trasformare i toni di grigio dell'immagine in fotoni per unità di tempo e superficie, e di qui in magnitudini astronomiche.

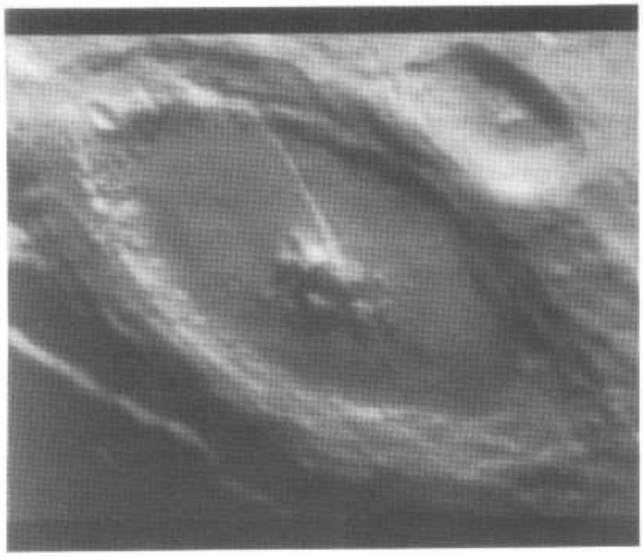
Spesso è anche necessario ricorrere a tecniche di *correzione geometrica* delle immagini per compensare eventuali difetti del sistema di acquisizione inteso come insieme ottico-elettronico (aberrazioni ottiche, deformazioni dovute alla forma non quadrata dei pixel di alcuni sensori, ribaltamenti d'immagine causati da superfici riflettenti poste sul cammino ottico e così via) o per rendere confrontabili dettagli planetari ripresi con prospettiva diversa (dettagli superficiali a diversa distanza dal meridiano centrale o crateri lunari in differenti condizioni di librazione).

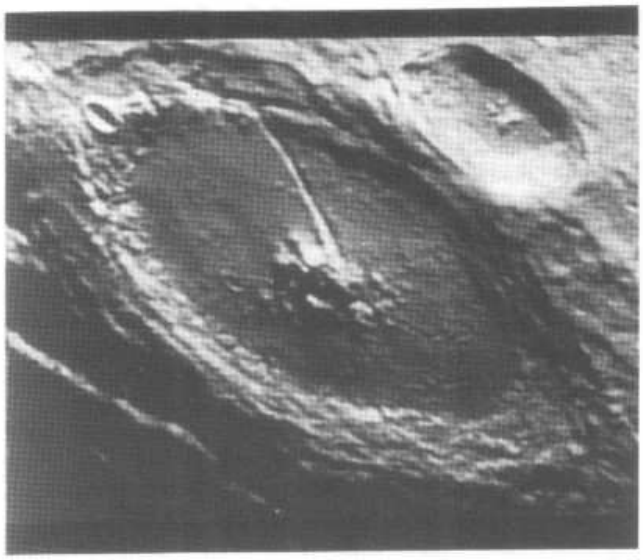
Operazioni «cosmetiche» sulle immagini

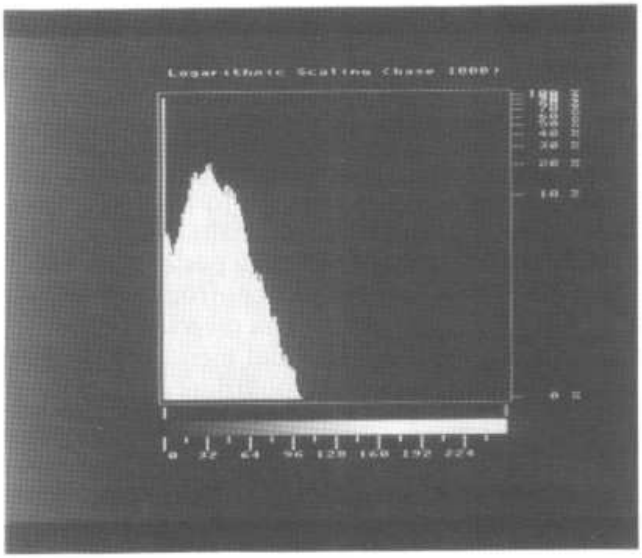
Le procedure di *enhancement* riguardano generalmente tutte le operazioni matematiche utili ad evidenziare dettagli poco visibili su un'immagine, ad aumentarne i contrasti, a diminuire gli effetti del rumore strumentale e così via.

Si tratta sempre di tecniche «a posteriori», applicabili cioè solo dopo l'acquisizione e la calibrazione di un'immagine, e per tale ragione non possono essere usate per aumentare l'effettiva quantità d'informazione in essa contenuta ma solo per renderla più leggibile migliorandone la qualità.

In molti casi diventa necessario decidere di quale genere di dettaglio si vuole migliorare la leggibilità, poiché spesso queste operazioni agiscono selettivamente su determinati tipi d'informazione peggiorando la qualità di altri. Ciò nonostante, applicando progressivamente diverse tecniche sulla stessa immagine, è possibile ottenere comunque un aumento generale della visibilità dei dettagli unito ad una riduzione degli indesiderabili effetti del rumore strumentale.







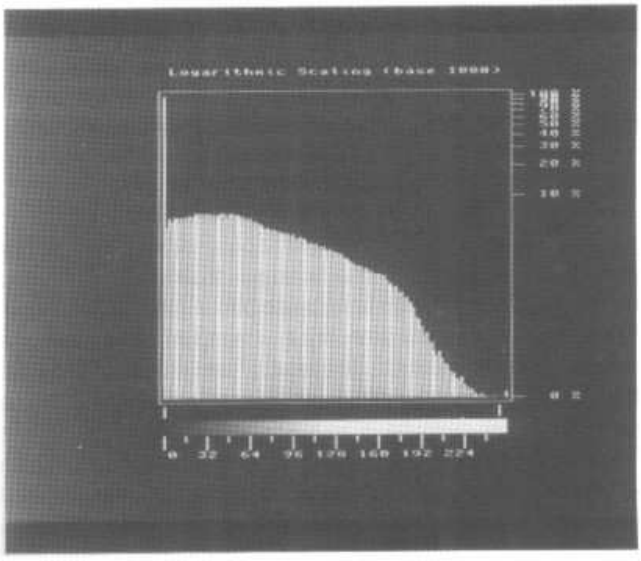
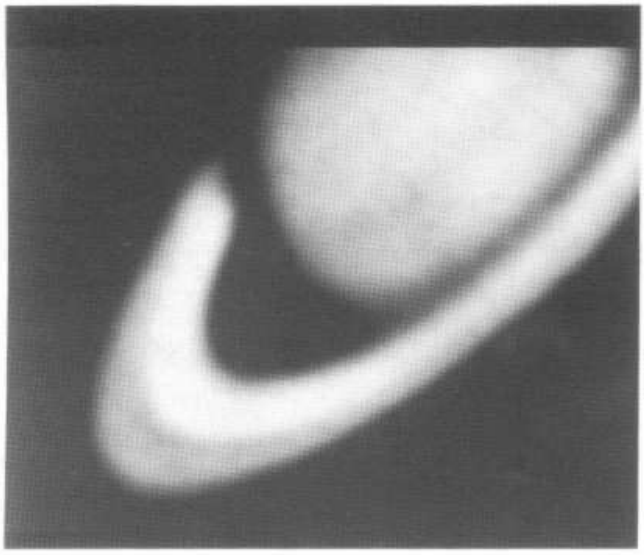
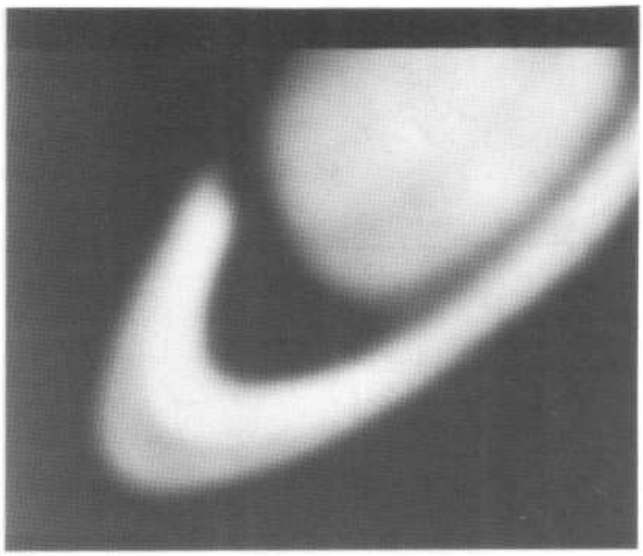


Fig. 12, 13 - Cratere lunare Petavius.
L'immagine originale (12a↖) è caratterizzata da una scarsa definizione e luminosità, ed un basso contrasto, l'istogramma (12b↙) evidenzia come i valori di intensità luminosa (toni di grigio) siano compresi tra 0 e 110 rispetto ad una scala che va da 0 a 255. Applicando la tecnica dell' Unsharp Masking *prima e quindi ridistribuendo i valori dei toni di grigio su tutta la scala dell'istogramma* (stretching) *si ottiene una migliore definizione dell'imagine (13a↗) grazie ad un maggiore contrasto e ad una migliore distribuzione dell'istogramma su tutti i valori della scala compresi tra 0 e 255 (13b↘).*

Uno dei principali strumenti nell'elaborazione d'immagini è l'«istogramma dei toni di grigio». Si tratta di un diagramma cartesiano sulla cui ascissa è riportata la scala dei toni di grigio dell'immagine, in genere con lo zero corrispondente al nero e con il bianco rappresentato dal numero più alto, legato alla precisione (numero di *bit planes*) con cui l'immagine è stata acquisita. In ordinata compare sempre l'abbondanza percentuale di pixel corrispondenti a ciascun tono (fig 12a-12b e 13a-13b).

Tra le molte, possibili tecniche di *enhancement* quelle che si sono rivelate più adatte al tipo di immagini sulle quali lavoriamo sono le operazioni basate sulla modifica dell'istogramma dei toni di grigio e alcune procedure di filtraggio spaziale. Contrariamente a quanto avviene nel caso dell'analisi di immagini astronomiche di nebulose e comete, caratterizzate da un basso gradiente di luminosità, per le quali risulta estremamente proficua la tecnica dei *falsi colori* al fine di evidenziare le più lievi dif-





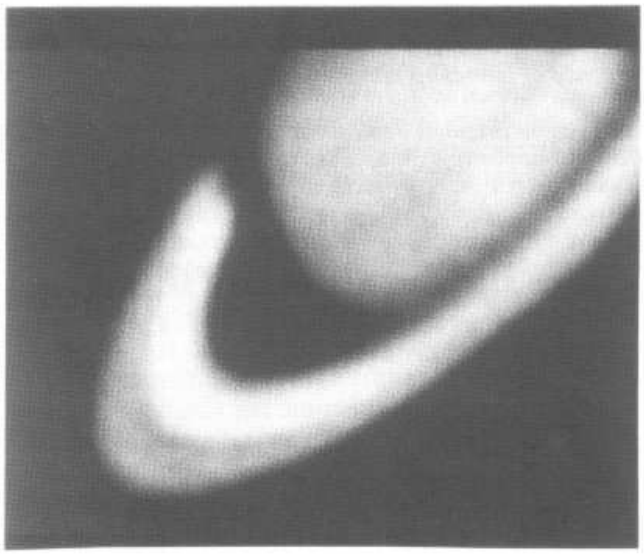


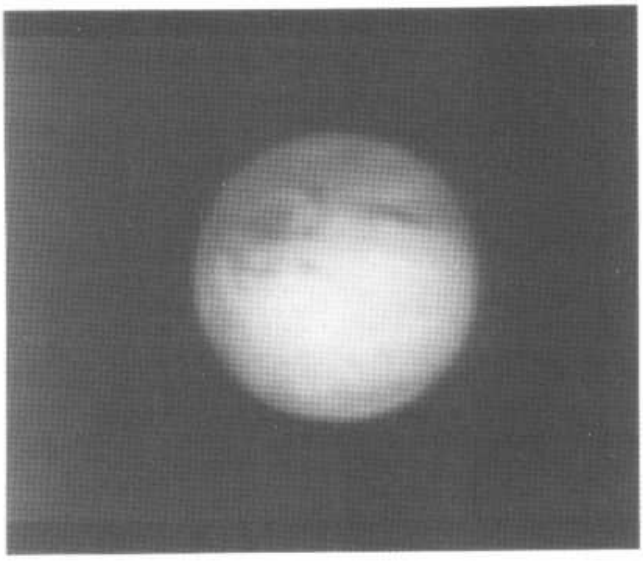
Fig. 14 - Pianeta Saturno.
Le tre immagini mostrano come un corretto utilizzo dei filtri spaziali sia determinante nell'evidenziare i dettagli planetari: L'immagine (a) mostra un dettaglio del pianeta dopo il trattamento con filtri spaziali opportunamente calibrati. L'immagine (b) mostra l'effetto di «offuscamento» dovuto all'intervento del filtro Passa-Basso. In pratica i dettagli sono stati notevolmente abbattuti a scapito della nitidezza.
L'immagine (c) mostra invece l'effetto di esaltazione dei contrasti , dovuto all'intervento del filtro Passa-Alto, in questo caso anche il «rumore» è stato sensibilmente evidenziato.

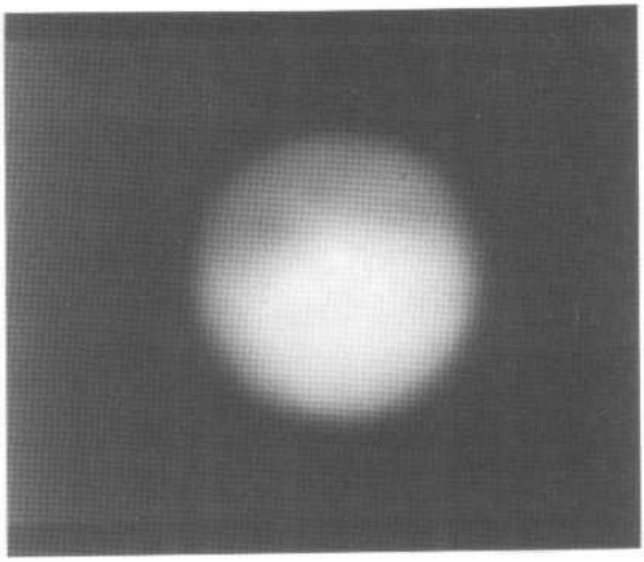
ferenze tra toni contigui, lavorando su soggetti planetari tale procedimento diviene pressoché inutile poiché l'immagine planetaria presenta quasi sempre brusche variazioni di luminosità. Le LUT (Look Up Tables) si sono comunque rivelate utili per aumentare la dinamica delle immagini espandendo la scala dei grigi. In questo caso i toni originali vengono sostituiti con altre sfumature di grigio, ottenendo ancora un'immagine in bianco e nero ma caratterizzata da un maggiore contrasto.

Le tecniche di manipolazione dell'istogramma prevedono una ridistribuzione delle abbondanze percentuali dei toni di grigio secondo funzioni matematiche di vario tipo. L'obiettivo di tali elaborazioni è di riuscire ad ampliare la dinamica dell'immagine in un certo intervallo di toni di grigio, a scapito di altre regioni dell'istogramma. Nel caso di immagini planetarie, in cui il soggetto non occupa l'intera finestra rettangolare su cui viene calcolato l'istogramma, è molto importante eliminare il contributo del fondo cielo all'istogramma stesso (normalmente piuttosto rilevante) in modo da rielaborarne solo la parte relativa al pianeta.

Esistono molte possibili funzioni e metodi semimanuali utilizzabili a tale scopo, tra cui per esempio i due casi complementari di adattamento della curva a funzioni di tipo logaritmico o esponenziale. Nel caso della funzione logaritmica l'immagine finale risulta sbilanciata verso i toni scuri, mentre nel caso di quella esponenziale diventano predominanti i toni chiari. A seconda del tipo di immagine può essere preferibile l'una o l'altra di queste procedure, tenendo presente che, pur risultando migliorata in un particolare intervallo di toni, l'immagine risulterà sicuramente peggiore nel suo complesso.

Altre semplici procedure utili per migliorare la leg-





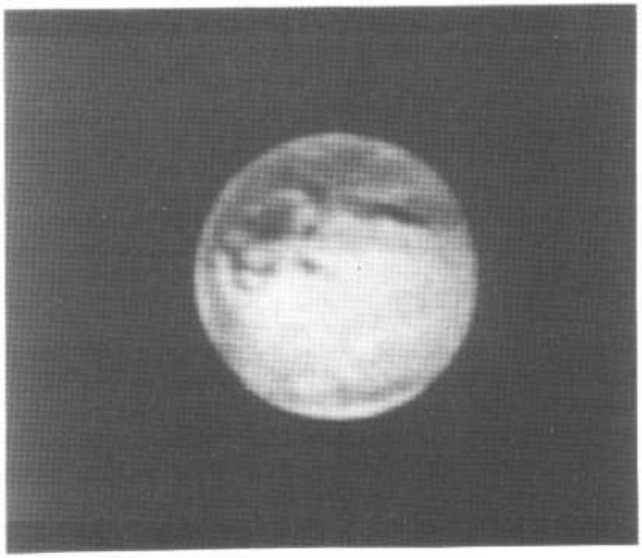


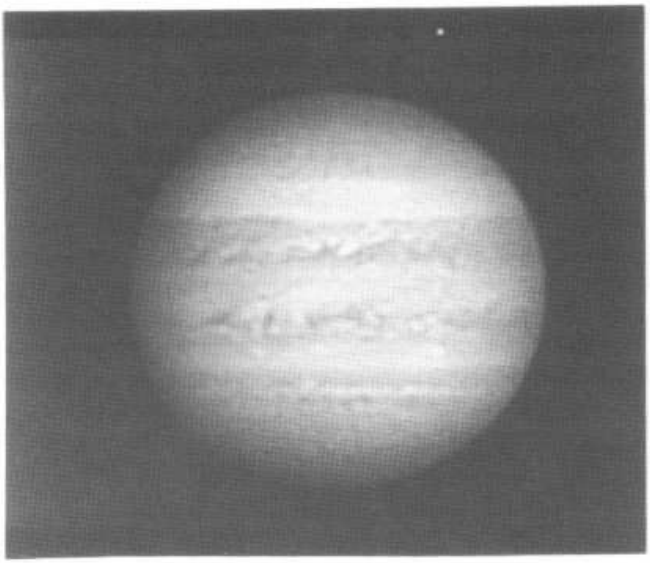
Fig. 15 - Pianeta Marte.
Le tre immagini in sequenza mostrano come l'utilizzo della tecnica di Unsharp Masking *sia «essenziale» per il trattamento di immagini planetarie e quanto efficace ne sia il risultato:*
L'immagine originale (a) è stata filtrata con un filtro Passa-Basso di opportune dimensioni (le dimensioni del filtro applicato determinano la scala di intervento del medesimo), nel caso specifico 19×27 pixel. La maschera ottenuta (b) è stata moltiplicata per 2 e quindi sottratta dall'originale (a) moltiplicato per tre, ottenendo come risultato l'immagine (c) = 3(a) − 2(b).
Variando i valori dei coefficienti numerici è possibile calibrare l'intervento del filtro.

gibilità di un'immagine già acquisita sono tutte quelle basate su *filtraggi numerici locali di tipo spaziale*. Contrariamente alle tecniche di modifica dell'istogramma, che agiscono sull'immagine nel suo complesso, questi filtraggi elaborano l'intera immagine a passi successivi considerando, istante per istante, una piccola area localizzata. Esistono molti tipi di filtri spaziali, con effetti estremamente differenziati, ma tra questi i più comunemente usati per i nostri scopi sono i filtri passa-basso e quelli passa-alto (fig. 14a-14b-14c).

L'applicazione di *filtri spaziali passa-basso* (*average, median* e simili) comporta una diminuzione del contrasto di un'immagine; in termini pratici tale operazione produce un generale offuscamento dei dettagli, livellando le maggiori differenze di luminosità tra pixel adiacenti. Il termine passa-basso deriva dal fatto che nel corso dell'elaborazione il gradiente tonale dei particolari ad alto contrasto (alta frequenza spaziale) viene appiattito, mentre quello dei dettagli a bassa frequenza spaziale passa quasi totalmente inalterato.

Lo scopo di questi filtri è quello di eliminare gli effetti negativi del rumore strumentale o di altro tipo che nell'immagine ha le dimensioni di un pixel. Ciò è possibile perché statisticamente è abbastanza probabile che il rumore (quasi sempre con distribuzione casuale) generi pixel di tonalità molto diversa da quella dell'immagine vera e propria.

I *filtri spaziali del tipo passa-alto* (*sharpen, crispen* e simili) si applicano invece per necessità opposte, ovvero per evidenziare i piccoli dettagli aumentando i microcontrasti dell'immagine. Analogamente ai filtri sopra menzionati, anche questi agiscono nel dominio spaziale, ma sui dettagli a più alta frequenza. Chiaramente l'uso di filtri di questo tipo può rende-



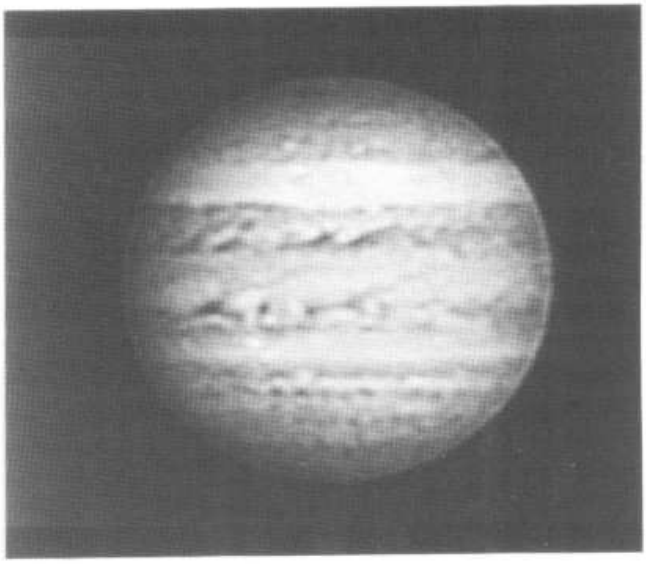


Fig. 16 - Pianeta Giove.
Le due immagini evidenziano come differenti tecniche di utilizzo dei filtri spaziali portino a risultati sostanzialmente diversi anche se applicate sulla stessa immagine:
L'immagine (a) è stata trattata prevalentemente con filtri Passa-Basso e Passa-Alto ma con procedimento «addittivo», ovvero applicando gli stessi alternativamente sull'immagine originale fino ad ottenere un netto incremento dei microcontrasti, ma con la penalizzazione di un sensibile aumento del rumore.
*L'immagine (b) è stata invece trattata con la tecnica dell'*Unsharp Masking *che, oltre a dare un risultato finale più leggibile (maggiore contrasto e nitidezza anche sul bordo planetario) ha consentito contemporaneamente di limitare l'aumento del rumore.*

re più evidente il rumore eventualmente presente.

Un genere molto particolare di filtro spaziale passa-alto è il cosiddetto *unsharp masking*, che utilizza un'immagine ottenuta tramite filtraggio passa-basso (maschera) per aumentare il contrasto generale di un'immagine sottraendo dall'originale la maschera. In pratica la differenza tra l'immagine originale, contenente dettagli ad alta e bassa frequenza, e la maschera, contenente solo i dettagli a bassa frequenza, dà come risultato un'immagine finale nella quale sono esaltati i dettagli ad alta frequenza. L'intervento di questo filtraggio può essere calibrato variando il peso delle due immagini. Questo genere di procedura era già nota in astrofotografia anche se il suo utilizzo risulta molto più complesso che mediante l'utilizzo del computer (fig. 15a-15b-15c).

Consigli per l'acquisizione delle immagini

Dopo aver introdotto schematicamente le caratteristiche dei principali metodi di filtraggio da noi utilizzati, passiamo a considerare alcuni accorgimenti pratici che consentono di avere una immagine già accettabile in partenza. Benché l'elaborazione delle immagini sembri far miracoli, il risultato finale sarà, ovviamente, tanto migliore quanto maggiore risulta il contenuto di informazione all'origine!

Occorre tener presente che, generalmente, l'immagine «grezza», così come viene acquisita al telescopio, pur contenendo tutta l'informazione finale, difficilmente ne consente l'immediata visualizzazione. Al fine di ottenere un'immagine finale chiara e leggibile, ottimizzata per quanto consentito dalle possibilità strumentali, è necessario seguire le seguenti *semplici regole in acquisizione e nelle successive fasi di elaborazione.*

Quando si inizia la ripresa di un soggetto è assolutamente indispensabile tenere conto dell'istogramma dei toni di grigio dell'immagine originale per regolare il tempo di esposizione od il guadagno della telecamera. Bisogna infatti accertarsi che tale istogramma sia ben distribuito tra il valore massimo e quello minimo nella scala dei toni di grigio, la cui ampiezza sarà diversa a seconda che l'acquisizione avvenga ad 8 bit (256 toni), 12 bit (4096 toni) o a livelli superiori di precisione. Naturalmente, tanto più ampia è questa scala, tanto più efficace risulta l'elaborazione numerica successiva. Una volta impostati i parametri di ripresa, questi potranno essere mantenuti fintanto che non intervengano variazioni nella luminosità del soggetto.

Partendo così da un'immagine «grezza» ben equilibrata, la fase successiva di elaborazione deve essere affrontata in modo molto «diretto», ovvero te-

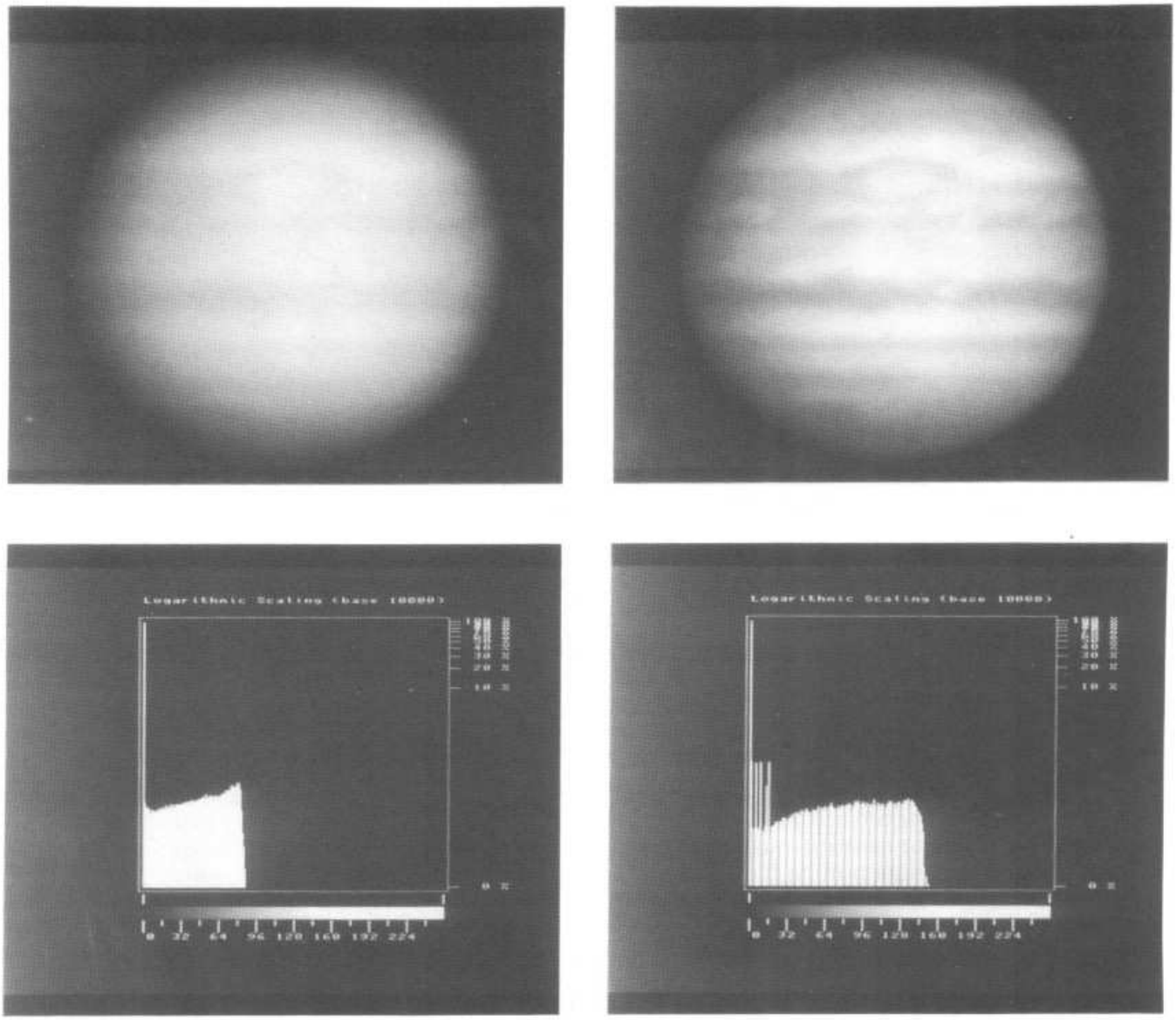
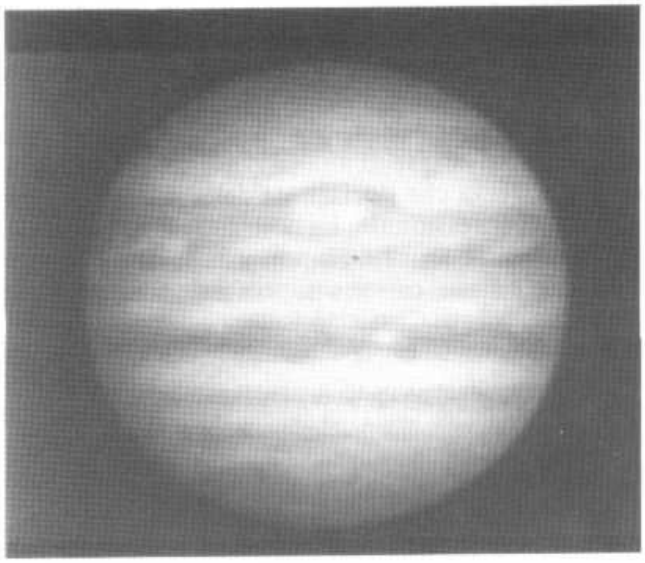
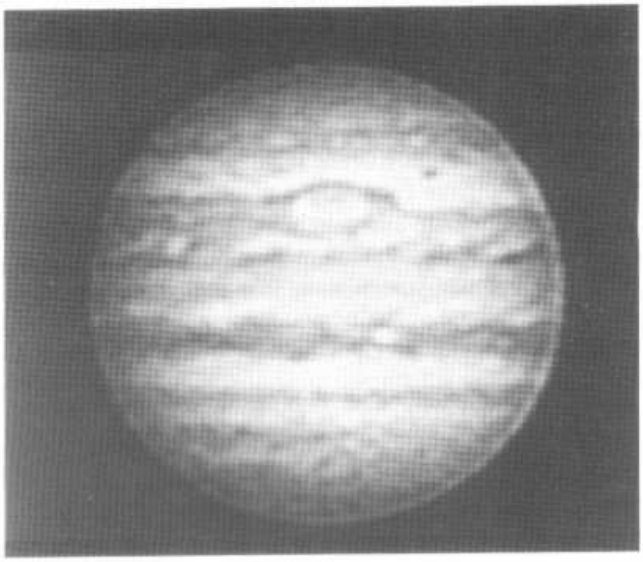
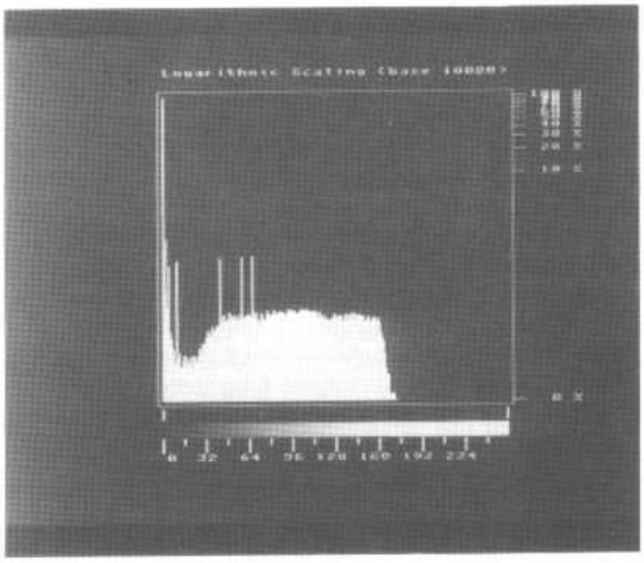


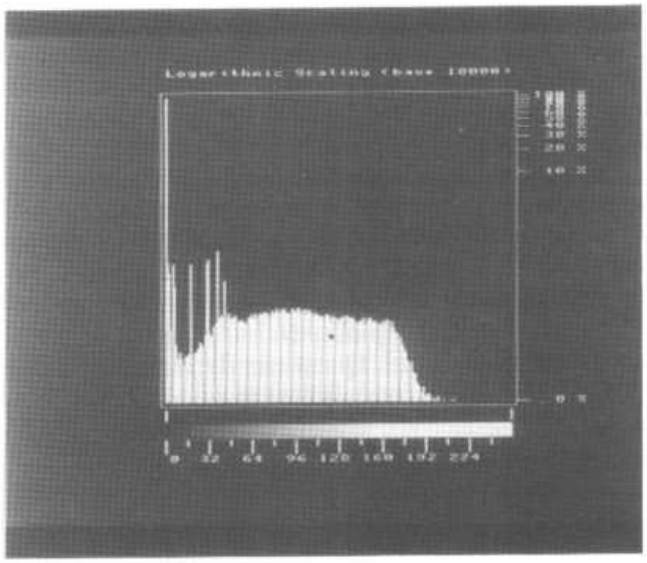
*Fig. 17, 18, 19, 20 - Pianeta Giove con Macchia Rossa. La sequenza di immagini qui riportata mostra i passaggi fondamentali di trasformazione dall'immagine originale all'immagine finale. L'originale (17) è stato ottenuto mediando 8 immagini «grezze» prese in rapida sequenza al fine di abbattere il rumore e ridurre le imprecisioni di ogni singolo fotogramma dovute al seeing. Nei tre passaggi successivi è stata utilizzata progressivamente la tecnica dell'*Unsharp Masking, *unitamente a modifiche dell'istogramma al fine di aumentare la dinamica dell'immagine.*
Questo procedimento si è rivelato molto efficace e gli istogrammi relativi alle immagini, mostrano come gradualmente la scala dei toni di grigio si sia potuta espandere da 0-84 nell'immagine iniziale a 0-200 nell'immagine finale (le righe verticali nell'istogramma sono dovute ad un intervento di stretch*).*
Molto significativi sono stati gli interventi sull'istogramma con andamento logaritmico ed esponenziale e le loro medie al fine di compensare l'oscuramento al bordo ed il fenomeno della fase.
Nel complesso, tra l'immagine iniziale (17) e l'immagine finale (20) sono stati effettuati 6 passaggi e 9 medie in modo da calibrare l'intervento dei filtri.

Nota: Tutte le immagini che compaiono nell'articolo sono state riprese dal Gruppo Planetario San Gersolè. Sono stati utilizzati i seguenti strumenti: Rifrattore Zeiss, diametro 65 cm, f/16 (fig. 15a, 17a); Riflettore Coudè Zeiss, diametro 100 cm, f/22 (fig. 12a, 16a) del Centro De Investigaçiones De Astronomia (CIDA, Venezuela).
Riflettore Cassegrain, diametro 30 cm (fig. 14a) dell'Osservatorio Planetario San Gersolè (Firenze).









nendo sempre a mente l'immagine originale e ciò che ci si aspetta di vedere. Questo richiede una buona conoscenza del soggetto ed è, secondo il nostro parere, il metodo più sicuro per evitare errate procedure di elaborazione che porterebbero ad una inesatta «interpretazione» dell'immagine. Si potrebbe obiettare che una tale «filosofia» di lavoro risulta poco oggettiva, ma è sicuramente preferibile all'eccessiva automatizzazione che risulterebbe ancor più soggettiva! (fig. 16a-16b, 17, 18, 19, 20).

L'analisi quantitativa

Scopo finale di tutte le procedure di calibrazione ed *enhancement* delle immagini è quello di renderne più agevole l'analisi quantitativa.

Tra i dati ottenibili dall'analisi di un'immagine digitale i più immediati sono quelli relativi alla misura di posizione dei dettagli, misure delle dimensioni lineari ed areali degli stessi, ed analisi fotometrica integrata o parziale.

Utilizzando opportune tecniche di deformazione geometrica è anche possibile ricondurre l'immagine di un disco planetario ad una proiezione piana (Mercatore o altre) in modo da poter disporre di un sistema di riferimento assoluto per il posizionamento dei dettagli planetari e poter eseguire agevoli misurazioni su di essi (anche misure fotometriche, avendo provveduto ad effettuare una opportuna correzione per compensare l'effetto di oscuramento al bordo).

Conclusioni

Non ci sono dubbi che l'immediato futuro ci prospetta un sempre più diffuso utilizzo delle tecnologie digitali applicate all'astronomia amatoriale. La

diffusione di telecamere CCD ed apparecchi fotografici digitali (Video Still), comporterà probabilmente l'immissione sul mercato di digitalizzatori più sofisticati, di memoria di massa a costi più bassi e naturalmente di software dedicato più potente di quello attualmente disponibile.

L'investimento culturale richiesto per poter utilizzare queste nuove tecnologie non è troppo oneroso e risulta certamente alla portata di tutti quegli astrofili impegnati che abbiano una minima dimestichezza con i personal computer.

Fino ad oggi è stato necessario realizzare appositamente i programmi per disporre delle funzioni utili all'analisi delle immagini planetarie, ma già stanno facendo la loro comparsa programmi di *Image Processing* per applicazioni generiche così evoluti da comprendere tra le loro funzioni quelle descritte nel presente articolo ed altre ancora. C'è quindi da scommettere che presto diventerà difficile restare aggiornati sulle novità software anche in questo campo specifico.

Coloro che decideranno di intraprendere questa affascinante avventura tecnologica si preparino a dover fare i conti con il tempo, non quello meteorologico (una volta tanto!), ma con quello assorbito dalla nuova coinvolgente attività. Se infatti da un lato diminuisce il tempo da trascorrere al telescopio, in quanto in poco tempo si acquisisce una quantità di informazioni incredibilmente maggiore di quella ottenibile in estenuanti sedute osservative o con l'esecuzione di numerose pose fotografiche, dall'altro si dilata enormemente quello da impiegare nel trattamento delle immagini. Questo avviene anche perché risulta impossibile qualunque tipo di standardizzazione delle procedure se si vuole ottenere il meglio da ciascuna immagine.

L'elaborazione delle immagini è uno strumento utilissimo per coloro che si occupano della sorveglianza delle superfici planetarie. La fase pionieristica sembra ormai conclusa ed i risultati fino ad ora ottenuti hanno se non altro dimostrato che grazie a questo nuovo modo di lavorare si è assottigliato, se non ridotto del tutto, il salto di qualità che divideva la ripresa fotografica dall'osservazione visuale in quanto a definizione. Viste le potenzialità esistenti anche nella successiva fase di analisi pensiamo di poter dire con certezza che l'orizzonte della ricerca in campo non professionale ha subíto un rapidissimo ampliamento e sconfina in un «territorio» riservato fino a pochi anni or sono ai professionisti. Volendo usare le parole di Christian Buil possiamo concludere che: «siamo in un'epoca come quella di Galileo, quando un telescopio non aveva che da essere puntanto ovunque nel cielo per fare una nuova scoperta».

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Centro De Investigaçiones De Astronomia (CIDA, Venezuela) per la disponibilità dimostrata durante la permanenza all'osservatorio; la ditta IEI 83 che ha messo a disposizione la strumentazione utilizzata per acquisire ed elaborare le immagini riprodotte nel presente articolo ed il Dott. Marco Falorni per la lettura critica delle bozze.

Bibliografia

- Christian Buil, *CCD Astronomy*, 1991, Willmann-Bell Inc.
- Vito Cappellini, *Elaborazione numerica delle Immagini*, 1985, Boringhieri.
- M.T. Capria, M. Fulchignoni, G. Sedmak, *Advanced Image Processing and Planetological Application*, 1986, Memorie della Società Astronomica Italiana, vol. 57, n. 2.
- Paul M. Mather, *Computer processing of remotely sensed images*, 1989, Wiley.
- Ian S. McLean, *Electronic and computer-aided astronomy*, 1989, John Wiley & Sons.

(ricevuto il 3.1.92)

Nuove Sezioni e Servizi UAI

SEZIONE RICERCA SUPERNOVAE: Si è ufficialmente costituita la Sezione Ricerca Supernovae con lo scopo di coordinare il lavoro di *survey* dei numerosi appassionati. La direzione è stata affidata a Mirco Villy del «Gruppo Fritz Zwicky».

SEZIONE STORIA DELL'ASTRONOMIA: La Sezione, in via di formazione, ha lo scopo di raccogliere la documentazione sul patrimonio artistico e strumentale riguardante l'astronomia. Strumenti abbandonati nei musei e nelle scuole, riferimenti astronomici in monumenti e opere d'arte, ecc. La Sezione si occuperà anche di archeoastronomia. La direzione è stata affidata a Franco Foresta Martin con la collaborazione di Guido Cossard.

SEZIONE ASTRONOMIA DIGITALE: La Sezione, in corso di formazione, si occuperà dei problemi legati all'acquisizione di immagini con telecamere e CCD e al software per l'elaborazione delle stesse. Sarà diretta da Claudio Lopresti dell'«Istituto Ricerche Astronomiche Spezzino».

SERVIZIO ASSISTENZA TECNICA: Chiunque avesse bisogno di informazioni tecniche riguardanti l'acquisto, l'installazione e l'uso o la costruzione di strumenti o accessori per l'astronomia può inoltrare le sue lettere a Claudio Lopresti che provvederà a smistarle agli esperti della Sezione.

SERVIZIO ASSISTENZA OSSERVATIVA: E' un servizio rivolto in particolar modo ai neofiti per risolvere eventuali dubbi su argomenti di astronomia, consigliarli sulla lettura di testi, l'acquisto di atlanti, l'adesione alle Sezioni di Ricerca e ogni altro problema legato all'attività osservativa di astrofilo. Inoltrare la corrispondenza a Sandro Baroni che risponderà personalmente.