

MENSILE DI SCIENZA E CULTURA

numero 198 maggio 1999 lire 9000

# astronomia

G. FASANO

Very Large Telescope  
la Stonehenge  
del 2000

C. GUAITA

NEAR

l'appuntamento  
mancato

G. LONGO

I fantasmi  
del Sistema Solare

P. TANGA

Un CCD  
autocostruito



È stata un'esperienza più che soddisfacente, dicono gli astrofili torinesi che l'hanno realizzata qualche anno fa. Si fatica molto, ma si impara molto.

## Farsi in casa un

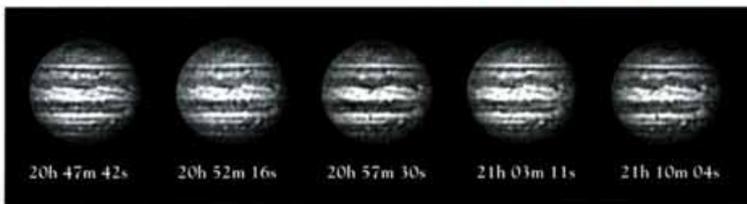
(sopra e a lato) La testa della telecamera, appena terminata, con l'aggiunta delle ventoline di raffreddamento e dopo l'anodizzazione.

(qui sotto) Una serie di immagini che evidenziano la rotazione di Giove, riprese con la camera CCD del Gruppo Herschel applicata al rifrattore di 42 cm dell'Osservatorio di Torino. (foto di P. Tanga, A. Fiorito, M. Martinengo)

(a destra) Una delle prime prove effettuate con il CCD autocostituito ha avuto come soggetto la Luna, ripresa con un C8, in una serata di seeing discreto. La camera non era ancora anodizzata, perciò i riflessi interni hanno peggiorato, in generale, i contrasti. Ogni immagine è data dalla somma di due frame.



PAOLO TANGA



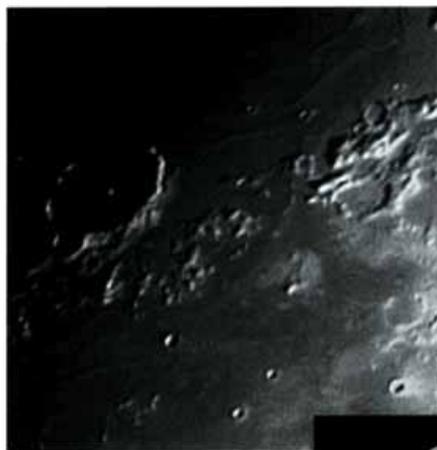
**S**EDERSI DAVANTI a uno schermo, magari al caldo, e vedere ciò che il telescopio automaticamente inquadra, era fino a pochi anni fa il sogno di qualche astrofilo pigro o freddoloso, o anche, per qualcun altro, uno snaturamento deprecabile delle usuali pratiche osservative. Nulla, certamente, potrà uguagliare il fascino dell'osservazione diretta, con l'occhio all'oculare: l'essere astrofili nasce proprio lì sotto le stelle, al buio, al freddo, e comunque direttamente esposti alla volta celeste. Ciò non toglie, tuttavia, che le nuove tecnologie costituiscano un grande passo avanti, in particolare se si desidera amplificare le potenzialità scientifiche della propria strumentazione.

Molti settori tradizionali dell'astronomia amatoriale, dallo studio delle stelle variabili a quello dei pianeti, hanno oggi la possibilità di evolvere, e forse davvero di spiccare il volo verso orizzonti nuovi. Il CCD è un occhio versatile poiché presenta quelle caratteristiche di linearità di risposta così necessarie per la fotometria, unitamente alla possibilità di raccogliere l'immagine degli oggetti. In sostanza, è uno strumento multicanale che consente di ottenere sia l'intensità luminosa che la sua distribuzione spaziale. All'opposto, in passato avevamo a che fare con strumenti come il fotometro fotoelettrico e la pellicola fotografica, che si spartivano le due capacità suddette senza però sintetizzarle effica-



(a lato) Il cratere Gassendi ripreso in una serata di seeing cattivo, attraverso un Newton di 15 cm di diametro, al fuoco diretto, dal balcone di casa. Nonostante le sfavorevoli condizioni di osservazione, alcuni fotogrammi (su una lunga serie ripresa in automatico) erano utilizzabili. L'immagine presentata proviene dalla composizione di due fotogrammi. La risoluzione (anche a causa della corta focale) non è comunque molto inferiore ai 2 secondi d'arco. Ma certamente qualunque fotografo "tradizionale" farebbe carte false per poter avere immagini come questa in una serata qualunque.

Saturno è un soggetto difficile da fotografare; la camera CCD, grazie anche al rifrattore di 42 cm dell'Osservatorio di Torino, è riuscita a evidenziare diverse bande nella sua atmosfera.



(qui sotto) L'intero disco lunare, composto tramite un mosaico di più di 20 immagini riprese con l'interposizione di un filtro rosso W25. Il contrasto dei mari lunari è maggiore nel rosso-infrarosso. Le immagini devono essere accuratamente calibrate in modo da essere accostabili senza percepire differenze di illuminazione evidenti.



44

cemente in un'unica soluzione.

Le possibilità di ottenere immagini ricche di dettagli e di indagare il cielo profondo con elevata sensibilità diventa ancora più appetibile quando si consideri che, nel contempo, si possono eseguire misurazioni quantitative con la stessa strumentazione, sulle stesse immagini. Ecco quindi il nuovo orizzonte per l'astrofilo evoluto che vorrà sfruttare queste tecnologie.

Come sempre, tuttavia, non mancano i problemi, pur non considerando la necessità di meccaniche adeguate e di una certa pratica nell'uso dello strumento. Infatti, le camere in commercio non sempre offrono le migliori soluzioni tecniche per sfruttare tutte le possibilità del sensore che montano, e il loro *software* di pilotaggio risulta talvolta insufficiente per applicazioni poco più che elementari, forse perché più pensato a tavolino da un programmatore che non sul campo da un astrofilo.

In realtà, bisogna ammettere che dalla prima apparizione sul mercato di questi prodotti, la situazione è migliorata notevolmente: molte camere offrono prestazioni di rilievo e *software* di acquisizione ed elaborazione di buon livello. È chiaro però che ciò va a incidere sul prezzo del prodotto, anche perché i programmi di acquisizione ed elaborazione, così come l'elettronica, sono di buon livello solo quando risultano di corredo a grandi sensori, in sistemi dunque già intrinsecamente più costosi. Per i piccoli sensori, al contrario, non è semplice trovare un prodotto curato al meglio a prezzi contenuti.

**T**ALE STATO DI COSE era particolarmente accentuato diversi anni fa, quando l'idea di costruire da sé ciò che il mercato non offriva, iniziò a farsi strada nella mente di alcuni membri del

Gruppo Herschel, associazione amatoriale di Torino. Compiendo le prime esperienze con una piccola SBIG ST-4, e tenendo d'occhio le altre camere sul mercato, divenne presto evidente che sarebbe stato davvero comodo poter disporre di una camera in grado di offrire quelle piccole e grandi opzioni che ne fanno un sistema affidabile, utilizzabile anche per lavori di una certa serietà scientifica.

Sulla carta, è chiaro, le idee sono belle e nobilitate da propositi grandiosi, poi all'atto pratico occorre sempre fare i conti con molti ostacoli, primo fra tutti il tempo richiesto da un lavoro di questo genere, sia in fase di progettazione che in fase di realizzazione. E sono conti che spesso spaventano, o almeno paralizzano, finché non giunge uno stimolo irresistibile.

Nel nostro caso esso arrivò con il guasto inaspettato della ST-4. L'apertura della testa e l'analisi dell'elettronica rivelavano non solo la natura del guasto (molto banalmente, un contatto staccato) ma, soprattutto, una semplicità apparente del sistema, e alcuni prevedibili compromessi nella realizzazione. Sarà stata la paura di restare senza telecamera, o l'aver guardato senza troppo spavento dentro le fauci del mostro, fatto sta che a partire da quei giorni si andò rapidamente concretizzando l'intenzione di autocostruire un CCD.

Le riunioni del martedì sera e qualche incontro del fine settimana permisero di mettere sul tavolo e confrontare le possibili soluzioni sia per la parte elettronica che per quella meccanica. Il tutto, ovviamente, a partire dalle esigenze che avremmo voluto soddisfare.

La camera doveva essere in grado di effettuare pose brevi su oggetti brillanti, per poter lavorare su Luna e pianeti; inoltre, doveva essere dotata di un siste-

ma di lettura veloce dell'immagine, per evitare tempi morti, e del raffreddamento, utile per pose superiori a qualche secondo. La temperatura del sensore doveva essere controllabile a piacimento e stabilizzata, per gli usi più critici. Nessun compromesso sull'elettronica: soluzioni "pulite" e componenti di qualità per ottenere un segnale con poco rumore, in grado di restituire al meglio la distribuzione della luce sul sensore. La digitalizzazione doveva avvenire almeno su 12 bit (4096 toni di grigio), quel che serve per poter iniziare a lavorare seriamente. Infine, nonostante nessuno di noi si fosse mai imbarcato prima in una simile impresa, la camera doveva avere buone possibilità di funzionare realmente, e quindi la progettazione preliminare doveva essere accurata e ben farcita di buon senso.

Il team risultava composto da Andrea Fiorito, Alberto Guadagno, Maurizio Martinengo, Saro Pomillo e dallo scrivente. La base delle conoscenze a nostra disposizione risiedeva in una buona pratica di elettronica (digitale in particolare) da parte di Saro e Andrea. Inoltre, la parte meccanica (essenzialmente la testa della camera con quanto occorre per montare il sensore e il sistema di raffreddamento) era di competenza di Andrea.

damento) veniva progettata da Maurizio e realizzata al tornio da Alberto. Chi scrive forniva l'incoraggiamento necessario, prometteva inoltre una buona dose di *software* e si dava da fare per cercare bibliografia, notizie, suggerimenti. Non bastava infatti maneggiare l'elettronica per far funzionare il tutto: occorreva risolvere, documentandosi sulle possibili soluzioni, tutta una serie di problemi. Ne citeremo tre, particolarmente importanti.

IL PRIMO ERA QUELLO dell'interfaccia-mento veloce con il computer di ac-

quisizione. Qualche idea di come si interfaccia un processore l'avevamo, ma nessuno di noi aveva mai studiato il *bus* del PC e come i segnali devono essere gestiti. Un secondo problema non indifferente era quello del raffreddamento. Nelle camere amatoriali lo si ottiene utilizzando dispositivi termoelettrici noti come *celle di Peltier*, reperibili con una certa facilità, ma difficilmente con le caratteristiche e le dimensioni volute. Non è facile prevedere il comportamento termodinamico del sistema, poiché dipende da parametri difficilmente controllabili come la dissipazione del calore

sottratto al sensore e il flusso di calore entrante nel sensore stesso, ovvero l'isolamento di questo dalle parti "calde".

Il terzo problema era quello dell'otturatore elettromeccanico, necessario per eseguire pose brevi. Se il sensore non viene oscurato durante la lettura dell'immagine eseguita dal PC, la luce proveniente da un oggetto brillante continua ad accumularsi sugli elementi sensibili. Alcuni sensori (del tipo cosiddetto "Full Frame") sono in grado di "salvare" l'immagine in una zona di memoria schermata alla luce, e quindi risolvono il problema elettronicamente; non era

## Come lavora il sensore TC-211

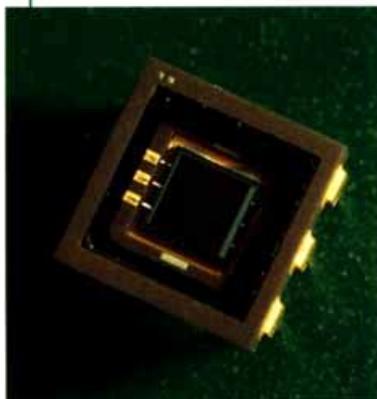
QUESTO SENSORE, pensato per applicazioni industriali che richiedono un ingombro ridotto, è già noto ai possessori delle camere ST-4 della SBIG, Lynxx della SpectraSource o le analoghe della Electrim. Esso è costituito da un'area sensibile composta da una matrice di 165 righe di 192 elementi ciascuna. Per ogni riga sono presenti inoltre altri 12 *pixel*, oscurati da una lamina di alluminio, il cui scopo è quello di fornire, nell'uso industriale, un'indicazione di massima della corrente di buio. La superficie sensibile è un quadrato di 2,64 mm di lato, e ogni *pixel* misura 13,75  $\mu\text{m}$  in larghezza e 16 in altezza. Esso viene fornito assemblato in un *package* ceramico quadrato di circa 7,5 mm di lato e le sue caratteristiche sono garantite dal costruttore entro un intervallo di temperatura che va da  $-10$  a  $+45$  °C. Questo dato è importante: almeno teoricamente, al di fuori dell'intervallo indicato potrebbe manifestarsi qualche malfunzionamento irreversibile; in realtà, anche a  $-40$  °C tutto ha sempre funzionato a dovere.

Il funzionamento di un qualunque CCD è strettamente dipendente dalla sua struttura interna. Si può pensare che ogni suo *pixel* sia costituito da una "buca di potenziale", termine che tecnicamente indica il campo elettrico preposto, in questo caso, al confinamento degli elettroni. Tali elettroni sono prodotti entro il substrato di silicio quando questo è colpito dalla luce, ovvero da fotoni. La comparsa di cariche ha una probabilità definita di verificarsi per ogni fotone, e ogni elettrone così prodotto ha una probabilità elevata di finire intrappolato nella buca di potenziale. Per inciso, proprio l'alta efficienza di questi due processi fa del CCD un rivelatore molto sensibile: la percentuale di fotoni rivelati in rapporto a quelli incidenti sulla superficie è molto elevata (generalmente supera, per certi intervalli di lunghezze d'onda, il 50%). Invece, il suo interesse scientifico deriva dal fatto che la carica accumulata è direttamente proporzionale al tempo di posa e all'intensità della luce incidente (finché le buche di potenziale non si avvicinano al limite di capienza), il che ne fa uno strumento di misura per eccellenza.

Per estrarre l'immagine dal sensore, occorre "leggere" il numero di elettroni accumulato in ogni buca di potenziale: in pratica, applicando una sequenza opportuna di segnali agli ingressi del sensore denominati IAG (*Image Area Gate*) e SRG (*Serial Register Gate*), si ha in uscita un segnale che fornisce, un *pixel* alla volta, un livello di tensione proporzionale alla carica accumulata. Al termine della posa, gli elettroni di ciascuna buca "precipitano" verso la riga sottostante. Così, tutti gli elettroni posti nei 192 *pixel* della riga 165 vanno nella sottostante riga 164, e così via fino alla 1. Gli elettroni che appartenevano alla riga 1 precipitano in una "riga" particolare, che non fa parte della superficie sensibile: è il "registro seriale". Prima dello spostamento di riga successivo, il registro viene svuotato un *pixel* alla volta: è durante questa operazione che i 192 valori da misurare di una singola riga si presentano in sequenza all'amplificatore contenuto nel *chip*, e da questo infine all'uscita del sensore come un segnale analogico sul piedino contrassegnato con OUT. Ripetendo il tutto per le 165 righe, si ha la lettura completa della matrice di *pixel*.

È da notare che il componente non implementa alcun circuito di protezione contro gli errori dell'utente: se non si rispetta l'esatta sequenza di eventi (*clock*), l'immagine non viene letta o viene letta male, oppure, nel peggiore dei casi, si danneggia irreparabilmente il *chip*.

Un segnale ausiliario, applicato all'Anti-Blooming Gate (ABG), consente di ridurre il fenomeno del *blooming*, ovvero lo "straripamento" delle cariche nei siti adiacenti. Attivando l'ABG, la buca di potenziale viene abbassata, e si fornisce una via di fuga agli elettroni in eccesso attraverso un'apposita rete di "scarico". Ciò si paga in due modi: la dinamica del sensore si abbassa quando l'ABG è attivato, e la superficie destinata al circuito di ABG ruba spazio alla superficie sensibile.



Il sensore TC-211. In *package* ceramico a sei piedini, è il più piccolo tra i sensori utilizzati nelle camere commerciali e non. È anche il più semplice da pilotare, pur non offrendo le prestazioni (in quanto a rumore, ad esempio) raggiunte dai CCD della generazione successiva. Le sue piccole dimensioni lo rendono non idoneo per la ripresa di oggetti estesi. Ha invece offerto ottimi risultati nelle riprese ad alta risoluzione di Luna e pianeti.

## La struttura della camera

NELLA TESTA IN ALLUMINIO TROVANO POSTO IL CCD, il sistema di raffreddamento, il sensore della temperatura, l'otturatore e il primo stadio di amplificazione del segnale. Tutte le parti metalliche della testa sono state fatte anodizzare a scopo protettivo e per eliminare riflessi indesiderati. La testa è chiusa da una finestra ottica, al di là della quale un attacco filettato permette il fissaggio di vari raccordi. Essa è composta da due parti principali, unite tramite una guarnizione *O-ring* alloggiata in un'apposita scanalatura. L'atmosfera interna alla testa è dunque ben isolata rispetto all'esterno. Quando la temperatura scende, la condensa e il ghiaccio si formano sul *cold finger* (italianizzato "dito freddo"), supporto che unisce la cella di Peltier al sensore; non potendo entrare altra umidità, sulla finestra del sensore non si deposita nulla.

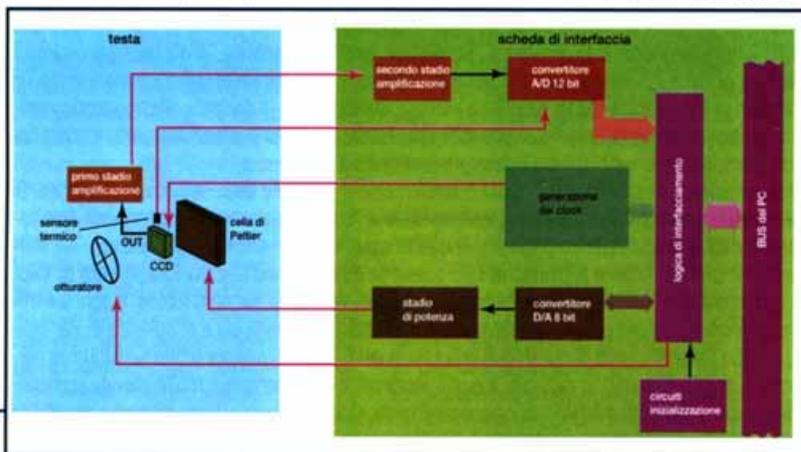
Il resto dell'elettronica risiede su una scheda AT full size, su cui sono montate la circuiteria per l'amplificazione finale e la conversione ana-

logico-digitale del segnale, per la conversione della misura di temperatura e per il pilotaggio di potenza del dispositivo termoelettrico, tutta l'elettronica di servizio per la generazione dei *clock* e, naturalmente, la logica di interpretazione degli indirizzi e dei dati.

Questa architettura ci permette di avere un solo cavo esterno, con tutti i vantaggi che ne derivano, e di scaricare un'immagine dal CCD in soli 1,2 s, quando si usa l'intera superficie sensibile e senza *binning*. Il "collo di bottiglia" è rappresentato nel nostro caso dalla velocità del convertitore analogico/digitale.

L'elettronica interna, cella di Peltier compresa, è interamente pilotata dall'alimentazione del computer che, per sicurezza, viene comunque sfruttata molto al di sotto delle massime potenze nominali. Le ventole di raffreddamento, aggiunte in un secondo tempo, hanno richiesto un'alimentazione esterna, poiché è praticamente impossibile filtrare i disturbi che esse inducono se allacciate alle linee di alimentazione che giungono dal computer alla testa della camera. In ogni caso, l'elettronica del PC si rivela una formidabile fonte di rumore, che è stato reso trascurabile solo con l'inserimento strategico nell'elettronica di opportuni filtri.

46



Schema a blocchi della struttura della camera. A ogni blocco corrisponde una parte della circuiteria. La "logica di interfacciamento" provvede a interpretare i codici ricevuti dal computer e a tradurli in comandi per gli altri moduli.

questo però il nostro caso. Per non investire troppo denaro in un'impresa dall'esito dubbio, noi avevamo deciso di acquistare il sensore di costo più basso e di reperibilità più agevole: il TC-211 della Texas Instruments, lo stesso usato nell-ST-4 e nelle camere Lynxx ed Electrim. I suoi  $192 \times 165$  pixel non sono molti, ma hanno dimostrato di essere più che sufficienti per produrre ottimi risultati su oggetti poco estesi, ad esempio nelle riprese planetarie. In ogni caso, il TC-211 necessita, per pose brevi, di un otturatore, e dunque occorre reperire sul mercato (o realizzare) un simile accessorio in grado di compiere pose di un centesimo di secondo o poco più.

Questo per quanto riguarda i problemi macroscopici. La progettazione dettagliata dell'elettronica ne ha prodotti, ovviamente, molti altri. Esistono fonti che possono dare suggerimenti utili in proposito. All'inizio del lavoro l'unico libro in nostro possesso che trattasse il

problema del pilotaggio del sensore era *CCD Astronomy* di C. Buil, che, pur facendo riferimento a sensori diversi dal nostro (egli parla dei Thompson, francesi), ben illustra i principi e le tecniche di base. A lavoro avviato, abbiamo anche letto con interesse *The CCD camera cookbook* di R. Berry, V. Kanto e J. Murgan, ma già con occhio critico, alla luce di quanto stavamo imparando.

Al di là dell'interfacciamento, studiato e implementato con buon successo, le parti più critiche riguardano l'estrazione del segnale dal sensore, riga per riga, *pixel per pixel*, preservando nel miglior modo possibile l'informazione raccolta durante l'esposizione. In linea di principio pare tutto relativamente semplice: un segnale di *clock* "sposta" l'ultima riga dell'immagine in un registro, da cui viene letta con impulsi di *clock* successivi; si procede quindi con la riga successiva, e così via (si veda il riquadro della pagina precedente). Chi mastica un po' di

elettronica sa che non è difficile produrre un segnale di *clock* opportuno, ma qui non basta. Infatti, questo segnale è la causa fisica del movimento delle cariche sul sensore e trasferisce materialmente gli elettroni da un sito (*pixel*) all'altro. È come spazzare chicchi di riso da una piastrina all'altra del pavimento: se non si fa attenzione, qualche chicco viene spinto su piastrelle più o meno lontane, qualche altro resta indietro. L'efficacia dell'azione dipende dalla bontà della scopa e dalla sicurezza del gesto. Allo stesso modo, nel nostro caso, la qualità dell'immagine finale dipende dalla bontà del *clock*, che deve essere un segnale privo di disturbi e ben squadrato. Quanto più esso peggiora, tanto più il CCD, pur funzionando a dovere, fornisce immagini dalle quali il contrasto si va perdendo.

IL DESIDERIO DI RIMANERE il più possibile aderenti alle specifiche tecniche

fornite dalla Texas per il suo sensore ci ha spinti a studiare in modo severo questo e altri dettagli, piccoli ma importanti mattoni della costruzione, sovente meno curati nelle produzioni in serie. Sono stati utilizzati solo componenti di prim'ordine, e anche le resistenze, quando necessario, sono state selezionate tra quelle di precisione. La realizzazione pratica è quindi avvenuta per stadi, costruendo e testando accuratamente le varie parti dell'elettronica fino a ottenere il comportamento desiderato: quella "di servizio" del sensore, l'interfacciamento, la conversione analogico/digitale, il pilotaggio della Peltier. In questa fase, si è rivelato indispensabile poter disporre di un oscilloscopio. Il lavoro è durato a lungo, ma d'altra parte non ci eravamo posti scadenze: inutile dire che un po' di pignoleria richiede correzioni e aggiustamenti, ma paga.

Per quanto riguarda il progetto dell'elettronica, la parte più critica è quella, come già detto, dei segnali forniti al sensore. Discostarsi dalle specifiche tecniche significa non far lavorare il CCD in condizioni ottimali, e un errore più grossolano può anche danneggiare irrimediabilmente il chip. Quindi proprio dalle specifiche (i *datasheet*) della Texas Instruments siamo partiti per progettare tutto il resto. Così facendo, abbiamo imparato anche che la documentazione tecnica fornita non è sempre puntuale e precisa, e che occorre completarla con qualche sperimentazione.

In proposito, è importante sottolineare che, ad esempio, l'attivazione del dispositivo di *anti-blooming* (per evitare che una colonna di *pixel* resti abbagliata dalla luce di una stella luminosa) avviene fornendo un *clock* con una fre-

quenza da scegliere entro un ampio intervallo. Analogamente, il segnale di *clock* preposto allo scorrimento dell'immagine riga per riga dispone di un livello di tensione intermedio che si può scegliere quasi a piacimento. Volendo verificare a posteriori quale fosse la scelta migliore, si è implementata anche l'elettronica necessaria a variare questi due parametri tramite il *software* di pilotaggio, coerentemente con l'impostazione di base che avevamo assunto fin dall'inizio: lasciare al programma di gestione il controllo della maggior parte dei segnali, in modo da non dover modificare la circuiteria (comunque complessa!) per ogni piccolo cambiamento che si fosse reso necessario. Così, per risolvere il primo dei problemi sono passati vari mesi. Quando finalmente siamo stati sicuri che era tutto a posto, il *chip* è stato inserito nella "testa" della camera e collegato. Le prime acquisizioni del segnale mettevano in luce qualche ultimo problema, ma nell'arco di pochi, frenetici giorni, tutto funzionava, e le prime immagini riprese nel salotto di casa iniziavano ad apparire sul monitor, suscitando urla di gioia.

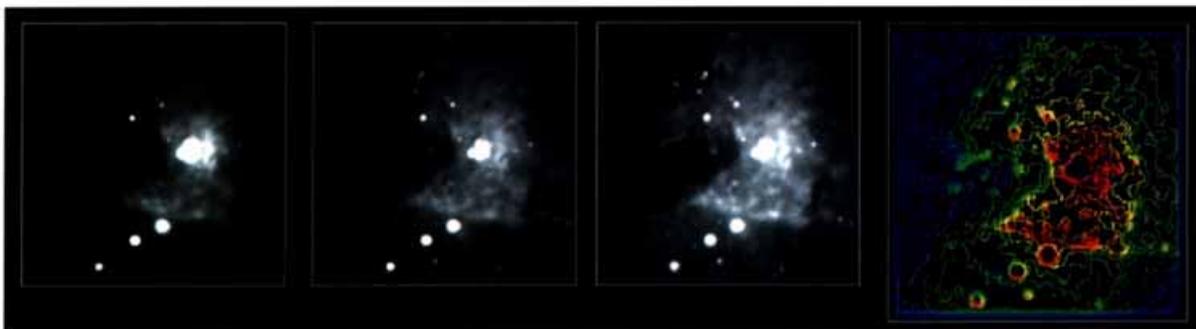
**A**QUESTO PUNTO, iniziava una lunga sperimentazione. Occorreva valutare per quali dei valori dei vari parametri controllabili si otteneva la resa migliore, e come si comportavano le soluzioni adottate per gli altri due problemi: ad esempio, il sistema di raffreddamento e l'otturatore.

Il primo mostra buone caratteristiche di stabilità, e senza ottimizzazioni particolari consente di scendere agevolmente 20-25 °C sotto la temperatura ambiente. La massa della "testa" in al-

luminio non risulta delle più leggere: più di un chilogrammo, ma con il vantaggio di una maggiore stabilità termica.

Molto interessante il comportamento dinamico del sistema di raffreddamento. All'inizio la discesa della temperatura è relativamente veloce; poi la massa metallica, che dal lato "caldo" della Peltier arriva fino alla massa di dissipazione, inizia a scaldarsi. Se si aumenta la potenza della Peltier oltre un certo limite, si supera la capacità di dissipazione e la temperatura del sensore non scende ulteriormente: anzi, il calore "rientra in circolo" e si ottiene l'effetto opposto. Varie sperimentazioni ci hanno convinto che è sufficiente un rudimentale isolamento del "lato freddo" per ottenere un netto miglioramento. Allo stesso modo, una ventolina esterna che provochi un flusso d'aria costante sull'alettatura è di grande beneficio per aumentare le prestazioni. Con quest'ultimo accorgimento siamo scesi a 40 °C sotto la temperatura ambiente, fornendo alla cella di Peltier tutti i 14 W di potenza che avevamo assunto come limite massimo. Il *software* che abbiamo realizzato legge la temperatura tramite un piccolo sensore con una precisione di qualche centesimo di grado e ne visualizza su un grafico l'andamento in tempo reale; la prima implementazione di un "termostato *software*" ci ha consentito di mantenerla agevolmente entro 0,5 °C dal valore impostato.

Quanto all'otturatore, non avendo l'immediata disponibilità di qualcosa di adeguato, Andrea ha provveduto, con molto ingegno, a realizzarne uno tramite una leggera aletta di alluminio mossa da un'elettrocalamita che, pur



Un esempio di elaborazione della regione centrale di M42. Si tratta di un soggetto difficile, poiché anche con pose di pochi secondi il brillantissimo "Trapezio" va in saturazione e rovina l'immagine. Per mettere in evidenza la nebulosità è stato necessario ricorrere a brevi pose multiple, da sommare successivamente. In questo caso, sono state utilizzate 24 pose da 10s l'una, sempre col Newton di 15 cm (fuoco diretto, sotto il cielo di Torino!). La messa a registro automatica delle immagini è stata effettuata con il programma PRISM, usato anche per le successive elaborazioni. In sequenza, da sinistra a destra: il risultato della somma; dopo una leggera deconvoluzione Lucy-Richardson; con moderata esaltazione dei dettagli a piccola scala; infine, le isofote dell'immagine. L'aspetto della nebulosa è sostanzialmente quello mostrato nel vicino infrarosso, ove si ha il massimo di sensibilità dei tradizionali CCD.

## È anche un bel risparmio (siamo genovesi...)

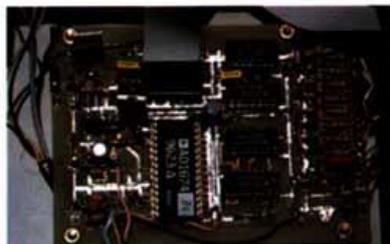
**G**ALEOTTO FU IL LIBRO... Uno dei nostri soci arriva un giorno in Osservatorio con due volumi: *CCD Astronomy* di Christian Buil e *The CCD camera cookbook* di R. Berry, V. Kanto e J. Munger, entrambi pubblicati da Willmann-Bell. Il primo era ben scritto, interessante e professionale; il secondo, decisamente pratico. Così cominciò la nostra avventura digitale: contando sul fatto che fra i nostri soci vi erano le competenze per autocostruire una camera CCD senza troppe sofferenze, iniziammo senza indugi.

Il complesso è costituito da varie parti, elettroniche e meccanico-ottiche, tutte essenziali; l'elettronica è contenuta in due circuiti stampati: il primo, montato vicino al CCD, provvede a pilotare il sensore, ad amplificarne il segnale e

a trasmetterlo al secondo circuito, che ha il compito di digitizzarlo e trasferirlo al computer. Siccome il CCD, per funzionare al meglio, deve essere mantenuto a bassa temperatura, una cella di Peltier provvede a raffreddare il sistema a circa  $-30^{\circ}\text{C}$ . Il raffreddamento è essenziale se non ci si vuole limitare a pose di circa 1s.

Il sistema di raffreddamento è il modulo meccanico più complesso ed è costituito da due parti: il radiatore, che provvede a smaltire il calore (circa 20 W) generato dalla cella di Peltier, e il "dito freddo", nome fantasioso per indicare il supporto del CCD che ha il compito di accoppiarlo termicamente alla cella di Peltier. Entrambi i pezzi richiedono una certa abilità mecca-

La scheda di controllo. Al centro si trova il convertitore analogico-digitale AD1674, mentre sulla destra sono collocati i circuiti di interfaccia per il collegamento al computer.



(sotto a sinistra) All'interno della camera si nota il CCD TC245 fissato al "dito freddo" che è stato annerito per ridurre le riflessioni di luce; la scatola che si intravede a sinistra contiene il preamplificatore e i circuiti di pilotaggio del CCD.

(sotto a destra) Vista d'insieme della testa della camera CCD. Il cilindro è costituito da tre parti: in basso il radiatore di alluminio in cui scorre il liquido di raffreddamento, al centro il tubo a cui sono fissati i connettori per l'alimentazione e il controllo, sopra il raccordo con il telescopio.



nella sua semplicità, ci ha permesso di compiere le prime riprese lunari e planetarie scendendo su tempi di posa fino a 0,2s. In seguito si era pensato di sostituirlo con un otturatore commerciale, in grado di arrivare a pochi millesimi di secondo di posa, ma con qualche modifica ben studiata il nostro "fatto in casa" ci ha permesso di lavorare con tempi di 0,04s, più che sufficienti anche nei casi critici.

**F**INITA LA COSTRUZIONE, inizia la fase delicata delle prime riprese e dei molti test. La prova sul campo ci ha consentito di migliorare il software di pilotaggio della camera, con funzioni

di ripresa e salvataggio automatico in sequenza, e opzioni di calibrazione, anch'essa automatica, dei tempi di posa. Quest'ultima opzione è molto comoda su oggetti come la Luna e i pianeti: una semplice analisi della distribuzione dei toni permette al programma di ricavare il tempo di posa ideale con cui eseguire la posa successiva. Questo è calcolato assumendo di voler raggiungere i 3/4 della dinamica a disposizione (quindi circa 3000 toni). Ciò consente di riprendere sequenze di immagini tutte correttamente esposte, senza la necessità di interruzioni per aggiustare i tempi di posa, anche in caso di trasparenza variabile. Se si aggiunge che sono presenti anche le altre opzioni

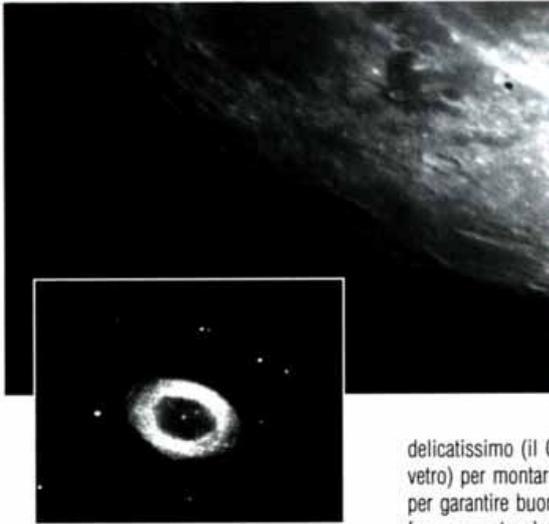
nica e la disponibilità di una fresa.

Non meno importante è il software che controlla il sistema; fortunatamente esso è fornito insieme ai libri. Le prestazioni sono limitate, ma sufficienti per incominciare. A onor del vero, tutti i componenti prima descritti (circuiti stampati, componenti elettronici e meccanici) li avremmo potuti acquistare direttamente da una ditta americana (University Optics Inc., P.O. Box 1205 Ann Arbor, MI 48106, USA; fax: 313-665-1815); un po' per risparmiare, un po' per personalizzare il sistema, un po' forse anche per l'orgoglio dell'autocostruttore, decidemmo di acquistare solo i componenti essenziali e di arrangiarci per tutto il resto.

Ordinammo il CCD, una cella di Peltier, nonché il convertitore analogico digitale, ossia il circuito integrato che trasforma le tensioni provenienti dal CCD in numeri. In attesa che ci arrivassero, ci dedicammo alla costruzione

di elaborazione più comuni, come i filtri predefiniti e quelli impostati dall'utente, operazioni aritmetiche tra immagini, maschera sfocata, modifiche dell'istogramma, isolinee, analisi dei profili, salvataggio in formato Lynxx, TIF e FITS, e molte altre, non possiamo che essere molto contenti del risultato ottenuto anche da questo punto di vista.

Una delle ultime modifiche apportate in ordine di tempo al programma di gestione riguarda l'implementazione della modalità di "scansione continua". Poiché infatti la lettura dell'immagine comporta la sua traslazione in direzione del registro seriale, è possibile effettuare riprese continue di strisce di cielo lunghe a piacere,



La prima immagine riuscita, prodotta dalla camera CCD, è questa ripresa della Luna ottenuta con un riflettore Celestron 8, diaframmato a 5 cm. La nebulosa planetaria M57, nella Lira, è stata ripresa con la camera CCD raffreddata a  $-40^{\circ}\text{C}$ , con una posa di 4m al telescopio di 40 cm dell'Osservatorio Astronomico di Genova.

della meccanica e dei circuiti stampati e al montaggio dei pezzi già disponibili (in parte acquistati, in parte recuperati da soci con l'hobby dell'elettronica).

Questa parte dell'avventura non risultò particolarmente difficile, ma richiese un'attrezzatura meccanica non trascurabile: un piccolo tornio e una fresa. L'elettronica risultò invece decisamente più semplice, e la maggior parte dei componenti facilmente disponibile. I circuiti stampati erano dei "doppia faccia" che un buon tecnico elettronico sa costruire senza bisogno di attrezzature particolari. L'assemblaggio meccanico-elettronico richiese solo pazienza, mano ferma e un minimo di esperienza nelle saldature.

Il CCD arrivò sei mesi dopo e così si giunse al faticoso momento di installarlo e provare. Il fissaggio del CCD fu un'operazione da cardiopalmo: bisognava premere fortemente un oggetto

delicatissimo (il CCD con la sua finestra di vetro) per montarlo sull'apposito zocchetto: per garantire buoni contatti elettrici, bisogna fare una notevole pressione. Le prime prove furono effettuate senza alcun raffreddamento, cercando di tenere fisso un obiettivo fotografico davanti al CCD: fu grande la soddisfazione di vedere il sistema funzionare quasi subito. Il costo totale è risultato di circa 800.000 lire, molto inferiore a quello di un sistema commerciale equivalente, con l'ovvio vantaggio che qualunque guasto è facilmente riparabile.

I nostri programmi futuri prevedono la riscrittura del software di controllo e il perfezionamento del sistema di raffreddamento. Quando avremo completato la nostra realizzazione, intendiamo diffondere il software sviluppato e i dettagli dell'hardware fra tutti gli astrofili interessati. Naturalmente, siamo disponibili da subito a uno scambio di informazioni ed esperienze. Questo è il nostro indirizzo:

**Osservatorio Astronomico di Genova  
Piazzetta Università Popolare  
16100 Genova Sestri Ponente**

a moto orario spento, semplicemente orientando la camera in modo tale che lo spostamento avvenga in direzione del moto diurno. Naturalmente, la velocità di scaricamento è modificabile in funzione della focale utilizzata. Il campo reale inquadrato dal sensore determinerà, in questo caso, il tempo di integrazione. Per inciso, la precisione fotometrica che si raggiunge in questo tipo di immagini è molto elevata, poiché le disomogeneità di risposta dei pixel sono mediate nella direzione di spostamento.

**A**CONTI FATTI, la nostra esperienza di autocostruttori è stata positiva e coronata da un successo che non osa-

vamo sperare. Non possiamo nascondere comunque di aver dovuto superare varie difficoltà, a tutti gli stadi della realizzazione, tornando a volte sui nostri passi per apportare le correzioni necessarie. Sarebbe molto lontano dal vero dare qui l'impressione che costruire una camera CCD sia facile, non richieda strumentazioni particolari e consenta grandi risparmi. In sostanza, occorrono buone conoscenze (che siamo riusciti a mettere insieme tra cinque persone, ma solo dopo molte letture), in particolare per l'elettronica, e apparecchi di test adeguati (un oscilloscopio è indispensabile). Infine, se non si vuole scendere a compromessi desti-

nati a riflettersi negativamente sul risultato finale, non si speri di accorciare di uno zero la cifra totale spesa nella realizzazione rispetto a una camera commerciale: il risparmio c'è ed è tangibile, ma sono altri gli stimoli e gli obiettivi che giustificano l'impresa.

La realizzazione si fa più semplice se si tralasciano alcuni dettagli e molti test, ma in questo caso è garantito che le prestazioni saranno inferiori. Può essere utile in proposito far riferimento al già citato volume *The CCD camera cookbook* di R. Berry e altri, nel quale sono presentati strumenti ben noti anche in Europa. Essi mancano di certe possibilità e ottimizzazioni che abbiamo previsto nel nostro progetto, tuttavia rappresentano un ottimo compromesso tra prestazioni e difficoltà di realizzazione. Sono molti gli astrofili che hanno ottenuto con le Cookbook camere buoni risultati. Tuttavia, anche in questo caso si tratta di un progetto impegnativo, che richiede di procedere con metodo e che premia maggiormente chi è in grado di realizzare autonomamente, in seguito, le proprie migliorie e modifiche hardware e software. Con tutto questo non vorremmo scoraggiare nessuno, ma un po' di sano realismo non può che far bene.

È notevole, infine, come al di là del risultato finale la piccola avventura abbia avuto ricadute estremamente positive per tutti i partecipanti: c'è chi ha approfondito le proprie conoscenze di elettronica, e addirittura chi ha imparato per l'occasione a programmare in C, in C++, e in ambiente Windows! L'astronomia, non c'è dubbio, è uno dei passatempi più completi!

Per tutto questo, si sarà capito, siamo parecchio soddisfatti e anzi in cantiere ci sono alcuni perfezionamenti della camera, un nuovo modello interfacciato tramite porta parallela, con elettronica del tutto nuova più versatile, e ovviamente un sensore al passo con i tempi, di maggiori dimensioni.

*PAOLO TANGA è nato a Saluzzo (CN) nel 1966 e vive a Torino. Laureato in Fisica, osservatore di pianeti con strumenti di 150 e 400 mm, è membro del Gruppo Astrofili "William Herschel", direttore della Sezione Pianeti U.A.I. e coordinatore, nel suo ambito, del programma Marte. Conseguito il dottorato in Geofisica, attualmente lavora presso l'Osservatorio Astronomico di Pino Torinese.*