# MANUALE UTENTE DELLA CAMERA CCD HIRES-IV AL TELESCOPIO DA 60*cm* DI LOIANO

I. Bruni<sup>1</sup>, R. Gualandi<sup>1</sup>, G. Cosentino<sup>2</sup>, C. Ciattaglia<sup>1</sup>

RAPPORTO TECNICO 01-02-2004

Versione 1.0

<sup>1</sup>. Osservatorio Astronomico di Bologna – INAF

<sup>2</sup>. Dipartimento di Astronomia – Università di Bologna

## Abstract

In questo rapporto vengono presentati i risultati dei test condotti per caratterizzare la camera CCD DTA-HIRES IV, acquistata dalla D.T.A. di Pisa e montata al fuoco Cassegrain del telescopio da 62*cm* del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna. Dopo una breve descrizione dello strumento, sono elencate le operazioni essenziali per acquisire misure in completa autonomia.

## Introduzione

E' attiva una collaborazione tra il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna e l'Osservatorio Astronomico di Bologna – INAF per rinnovare il telescopio riflettore da 62*cm* della stazione di Loiano. I lavori comprendono sostanziali interventi sulla parte elettronica di controllo numerico e l'installazione della nuova camera CCD per uso scientifico-didattico. Con essa sarà possibile acquisire immagini per indagini astrometriche e fotometriche in quattro colori. Tutto ciò che riguarda la procedura di gestione del telescopio verrà descritta in dettaglio in un rapporto in preparazione.

## 1. Lo strumento



Figura 1

Lo schema della strumentazione può essere così riassunto:



- 1. Riduttore di focale.
- 2. Ruota portafiltri.
- 3. Shutter elettromagnetico.
- 4. Camera CCD.
- 5. Refrigeratore.
- 6. Controller/driver.
- 7. Link ottico.
- 8. PC di acquisizione (Athlon XP 1800, 256Mb ram, 40Gb Hd, Win XPpro® Os).

Il riduttore di focale consiste in un pacchetto lenti opportunamente progettate per ottenere un rapporto focale pari a f/5.6 e correggere entro certi limiti la superficie caustica dell'aberrazione di coma. Il 30% circa del campo inquadrato dal sensore è vignettato a causa della non ottimizzazione tra dimensione dei filtri e rapporto focale del telescopio. La ruota portafiltri può contenere 6 elementi ottici da 1 pollice di diametro. Attualmente la camera lavora con i filtri **B**,**V**,**R**,**I** di Johnson di cui in *Appendice 1* sono riportate le bande passanti.

Il sensore è un Marconi serie **CCD4710** di classe 0, front-face illuminated a tecnologia MPP le cui caratteristiche sono riportate in *Appendice 2*. Esso è raffreddato da un sistema a triplo stadio di celle Peltier con dissipazione a ricircolo di liquido la cui temperatura è controllata da un refrigeratore. La temperatura di esercizio del sensore deve essere mantenuta tra -20 °C e -10 °C e, comunque, mai scendere al di sotto dei -25 °C, soglia oltre la quale si possono formare cristalli di ghiaccio sul sensore. Inoltre viene adottato un disaccoppiatore ottico per minimizzare possibili contaminazioni del flusso di dati tra il controller e il PC di acquisizione.

### 1.1 CARATTERIZZAZIONE: EFFICIENZA E LINEARITA'

Si sono eseguite misure su banco ottico per determinare l'efficienza del sensore e per quantificare il guadagno dell'amplificatore del nodo d'uscita (fattore di conversione e<sup>-</sup>/ADU).

La curva di efficienza quantica è stata definita alle temperature di +26 °C, -15 °C e -20 °C acquisendo, con la camera CCD e con un fotodiodo calibrato, misure contemporanee di flusso monocromatico compreso tra 400*nm* e 1000*nm*. La radiazione monocromatica è generata da una sorgente di luce molto stabile e da un monocromatore a reticolo. Il risultato delle misure, consistenti con le specifiche tecniche del sensore, è riassunto nel grafico in *Appendice 3*.

Il fattore di conversione e<sup>-</sup>/ADU è stato determinato analizzando l'andamento della varianza dell'immagine differenza di coppie di flat-field riprese con tempi di esposizione crescenti fino alla

completa saturazione (60000 ADU). Il valore ottenuto è di  $1.13 \pm 0.07$  e<sup>-</sup>/ADU. In *figura 2* è riportato l'andamento delle misure di linearità del sensore, queste deviano dal fit lineare al massimo del 0.9%. Il RON misurato è di 14.1 e<sup>-</sup>/px.



### **1.2 BIAS FRAMES**

Sono stati acquisiti numerosi bias frames per identificare e quantificare possibili fonti di contaminazione nelle misure scientifiche. Il valore di bias è di 1139  $\pm$  12 ADU a -20 °C.

Da un'analisi degli istogrammi fatti su piccoli box dei singoli bias e sul bias mediano si nota che in generale la distribuzione non segue precisamente un'andamento Gaussiano (*figura 3*). Indice questo della presenza di sorgenti di rumore prevalentemente ad alte frequenze che si sovrappongono al RMS noise del sensore.



Per mettere in luce e quantificare l'ampiezza di questi segnali ad alta frequenza si sono analizzate le DFT delle righe e delle colonne dei singoli bias e del bias mediano alla temperatura di -20 °C ottenendo spettri di Fourier con diversi picchi come nel grafico seguente (*figura 4*).



Dai numerosi frames fin'ora acquisiti possiamo affermare che queste sorgenti di rumore sovrapposte al segnale possono essere coerenti ed incoerenti e talvolta, attraverso la procedura standard di calibrazione, non sono totalmente rimosse dal frame scientifico. In realtà, osservando il frame, si nota la presenza di diverse strutture continue (*figura 5*). Le figure di interferenza modulano i bias fino al 0.6%, ma le ampiezze delle modulazioni possono presentarsi diverse e variabili nel tempo. La pessima stabilità della rete di alimentazione e la presenza di segnali spuri attraverso la linea di massa dell'edificio sono la causa più probabile per questo tipo di contaminazione.

### **1.3 DARK CURRENT**

Abbiamo acquisito diverse immagini di corrente di oscurità alle temperature di -5 °C, -15 °C e -20 °C con 300 secondi di posa e con 900 secondi di posa. Il valore di corrente di oscurità misurato in queste condizioni è mostrato in tabella:

Exp. Time	Dark @ -20 °C	Dark @ -15 °C	Dark @ -5 °C
300 s	$0.59 \text{ ADU/s} (0.6 \text{ e}^{-/\text{s}})$	1.25 ADU/s $(1.4 e^{-1}/s)$	5.16 ADU/s (5.8 e <sup>-</sup> /s)

In accordo con le specifiche.

## 2. Il software di gestione VISTA Lite

**VISTA Lite** (1.7.4 vers.) è il software che gestisce le modalità di acquisizione delle immagini, la visualizzazione, il posizionamento dei filtri e la temperatura di esercizio del sensore. In realtà questo applicativo permette di fare molto di più, e a questo proposito, si consiglia una consultazione dettagliata del manuale d'uso fornito dalla DTA.

ATTENZIONE: questo software di controllo non possiede protezioni in scrittura su importanti file di configurazione, che se involontariamente modificati possono pregiudicare il corretto funzionamento della camera.

All'avvio è necessario dare conferma al riconoscimento dell'hardware disponibile premendo i tasti "*continue*" (*figura 6*)



Figura 6

Successivamente sul desktop vengono aperte diverse finestre: la finestra di startup **VISTA Lite**, un **visualizzatore** di immagini native (.dif) della camera e l'**HISTOGRAM image** (*figura 7*).



Il pannello della finestra **VISTA Lite** offre un menù di bottoni con funzionalità diverse (*figura 8*):



- Genera una tendina con due voci. Selezionare "*advanced camera control*". Viene attivata così la finestra di controllo principale "*camera control*" della camera CCD da cui si controllano tutte quelle operazioni descritte nel *paragrafo 5*.
  - Carica nel buffer di visualizzazione di VISTA un'immagine presente su disco.
- Salva manualmente sul disco rigido il frame acquisito. Le immagini vengono e devono essere salvate nella cartella condivisa il cui percorso è specificato dal "*Home Load Directory*" e "*Home Save Directory*". Il software permette di salvare in diversi

formati, quello più utilizzato è in FITS (le estensioni possono essere .fits, .fts oppure .fit).

- Apre una finestra in cui viene visualizzato un ingrandimento della zona prossima alla posizione del mouse sul frame.
- Selezionando uno dei due bottoni o entrambi si visualizzano sul frame i grafici delle sezioni riga e colonna.
- Usualizza informazioni statistiche relative ad un qualsiasi box disegnato sul frame (*figura 9*). Per disegnare il box tenere pigiato il tasto sinistro e trascinare il puntatore fino a quando le dimensioni del quadrilatero ottenuto corrispondono a quelle volute. Esso può essere traslato tenendo premuto il tasto destro del mouse sul centro del box.



Figura 9

Tenendo spinto il tasto destro del mouse si accede ad un ulteriore menù con diverse voci:

- *"put a flag*" visualizza un flag numerato sul frame.
- "*Activate*" attiva la finestra di visualizzazione nel caso non lo sia. Per controllare che la finestra sia attiva deve essere abilitato il logo posto sull'angolo sinistro in alto della finestra di visualizzazione delle immagini.
- "*Redraw*" ricarica il buffer.
- "Info" aggiunge informazioni ulteriori e note alla header FITS.
- "Markers" sovrappone sulla finestra di visualizzazione una serie di flag e griglie.
- *"Profile at cursor"* mostra una finestra di visualizzazione dei profili di conteggio lungo i due assi principali consentendo anche un'esportazione dei dati come file di testo. Questa funzione è molto utile per quantificare la *FWHM* di un oggetto stellare sul frame.
- "*Remove all....*" rimuove dalla finestra di visualizzazione i box e i flag disegnati.

Particolare importanza riveste il pannello "*camera control*". Da quì è possibile controllare la camera e impostare le condizioni di temperatura di lavoro (*figura 10*).



- Nella textbox si imposta la potenza refrigerante del dispositivo Peltier. Il bottone "cooler" attiva e disattiva il Peltier.
- Cliccare sul bottone CCD +5.84 ℃ Cooler Power 0.0%

**SET T**  $C \xrightarrow{c} I$  Nella textbox si imposta la temperatura di esercizio del sensore. Cliccare sul bottone "*set t*." per abilitare o meno il controllo.

Monitor corrente della temperatura e potenza del Peltier.

**Enning** Il tasto "*Binning*" permette di programmare il download del frame dalla piena risoluzione, binning 1x1, fino a 8x8 pixel contigui. Dalle due textbox è possibile personalizzare le impostazioni di binning orizzontale e verticale. Eseguire il comando col tasto "*do bin*".

- In questa textbox si seleziona il tempo di esposizione della camera, espresso in secondi. Il tempo massimo impostabile è 9999 secondi.
- **INTEGRATE** *"integrate"* fa partire l'acquisizione.

-

- Si accede alla modalità "*focus*" (descritta in dettaglio nel *paragrafo 5*) molto <u>utile per stabilire il miglior fuoco del telescopio</u>.
- Si accede alla finestra che comanda il posizionamento della ruota portafiltri.
- VISTA permette di acquisire una sequenza di immagini con lo stesso filtro e lo stesso tempo di posa salvandole progressivamente sul disco rigido.
- Attraverso questo bottone è possibile fare immagini in "tricromia" con una procedura automatica di acquisizione e allineamento frame. Tuttavia, a causa dei differenti valori di fuoco del telescopio nei tre colori, non è possibile automatizzare questa sequenza.
- COADDING Permette di acquisire mediare e allineare automaticamente una serie di frames.
- **DARK FLAT** I bottoni "*dark*" e "*flat*" consentono di calibrare rispettivamente per il dark frame ed il frame di flat field. Una volta acquisito il frame di dark o flat field, il led rosso posto sopra il rispettivo bottone diventerà giallo. Ciò significa che tutte le immagini che verranno prese successivamente saranno calibrate automaticamente. Per disabilitare l'autocalibrazione è sufficiente cliccare nuovamente sui rispettivi bottoni.

## 3. Accensione del sistema

Per evitare problemi inattesi, si consiglia di inizializzare il sistema almeno 2 ore prima dell'osservazione.





Figura 11

- 1. Accensione PC di acquisizione.
- 2. Effettuare il login come "user".
- **3.** Controllare il programma **D4**, in esecuzione automatica, per la sincronizzazione dell'ora di sistema. Questo eseguibile consente, con una precisione media del 1%, di sincronizzare ogni minuto l'ora di sistema del PC di acquisizione ad un server primario NTP del centro Galileo Ferraris di Torino. Controllare il monitor di sincronizzazione periodicamente durante la notte.
- **4.** Accensione del refrigeratore "**4**" (*figura 11*). Controllare l'indicatore di temperatura e la spia di presenza liquido. Nel periodo estivo l'indicatore non deve superare i +20 gradi a regime.
- 5. Accensione Controller/Driver "5" (figura 11).
- 6. Accensione Link ottico "6" (figura 11). Controllare luce verde di avvenuto collegamento.
- 7. Lanciare dal desktop del PC di acquisizione il programma VISTA. Cliccare su *"advanced panel"* per aprire il pannello di controllo.

## 4. Impostazione della temperatura di lavoro

Come suggerito dalla tabella successiva, in base alla temperatura ambiente si imposta la temperatura di lavoro e la potenza da fornire al dispositivo di raffreddamento. Nella textbox a destra del bottone "*set t*", in "*camera control*", impostare il valore di temperatura di esercizio del sensore. Con il bottone "*set t*" si attiva o disattiva il controllo della temperatura.

Successivamente impostare il valore di potenza nella textbox a destra del bottone "cooler".

Premere il bottone "*cooler*" per attivare i Peltier. Disabilitando il tasto "*cooler*" viene interrotto l'assorbimento di corrente generando una repentina risalita della temperatura. Il sistema si porta a regime in *20min* circa mantenendo il valore di temperatura impostato con oscillazioni di circa 1 grado. E' consigliabile controllare spesso lo stato di raffreddamento del sistema in modo da accorgersi per tempo di eventuali crash.

e

Temperatura Ambiente	Temperatura CCD	Potenza
≤ 0 °C	-20 °C	15 %
>0 °C, ≤ 15 °C	-20 °C	20 %
>15 °C	-15 °C	20 %
≥ 25 °C	-10 °C	25 %, 30 %

Nel caso in cui la temperatura si abbassi al di sotto dei -25 °C disattivare il tasto "cooler", attendere che risalga fino a -15 °C circa e riattivarlo successivamente.

Più in generale se il sistema non riesce a stabilizzarsi sul valore di temperatura impostato, portare la potenza di raffreddamento a valori più bassi. Tanto più la temperatura esterna è bassa e tanto meno potenza richiede la camera per portarsi a regime senza oscillazioni. E' preferibile utilizzare bassi valori di potenza (intorno al 20-25%) attendendo per la stabilizzazione qualche minuto in più anzichè fornire alti valori di potenza (30-35%) che possono portare a grandi oscillazioni di temperatura. Valori inferiori a -25 gradi portano alla formazione di cristalli di ghiaccio sul chip. Raggiunta la temperatura di lavoro è possibile iniziare la sessione osservativa, si consiglia di non modificarla durante la notte.

#### 5. Acquisizione di un'immagine

Per acquisire una buona immagine si deve prima di tutto stabilire il miglior valore di fuoco del telescopio minimizzando il "disco" della figura di diffrazione per ogni filtro che si ha intenzione di utilizzare. Successivamente in base al rapporto segnale rumore che si vuole ottenere è necessario stabilire il giusto tempo di posa da impostare sul "camera control".

Controllare che la camera sia stabile a temperatura di regime.

#### 5.1 **FUOCO DELLA CAMERA**

Dalla finestra "camera control" spingere il bottone "f. wheel" per abilitare il controllo di • posizionamento filtri (figura 12):

= FILTER 🗐 🗖 🔯		
FILTER SETUP		
1:	Empty	
2:	Filter B	
💮 з:	Filter V	
4:	Filter R	
5:	Filter I	
💮 б:	Empty	
7:		
8:		
	10	

Figura 12

Per posizionare la ruota nella posizione desiderata selezionare col mouse il bottone che • affianca l'identificativo numerico del filtro. Durante la sessione osservativa si consiglia di non chiudere questa finestra in modo da avere un controllo visivo sulla posizione attuale.

• Fare un'immagine in piena risoluzione (binning 1x1) con un tempo di posa adeguato (per esempio 8 - 10 secondi se si vuole mediare gli effetti di seeing atmosferico) spingendo il bottone *"integrate"* dal *"camera control"*. Controllare visualmente la *"forma"* di alcune stelle di campo brillanti e non sature. Una buona idea è eseguire questo controllo servendosi

della funzione "lente di ingrandimento" (figura 13) posta sul pannello VISTA Lite 🏸 .



Figura 13

• Al fine di valutare meglio la forma della *psf* è possibile modificare l'intensità e il contrasto dell'immagine. Con il mouse selezionare sul frame un box di qualche centinaio di pixel per lato e spingere successivamente il bottone "*window*" della finestra "*histogram image*" (*figura 14*). Per trovare la gradazione di contrasto migliore traslare il box in diverse zone del frame spingendo nuovamente il tasto "*window*".

HISTOGRAM IMAGE [0	0) 💶 🛛 🗙
1 . Bendikala Kan	
AUTO SPT UT?	
ACTO SET WIZ	[
GIRI LISTS	SIGMA
20% 80%	AVERAGE
LLUR	LRUL
FULL	WINDOW
	1.4

Figura 14

- Se ci si trova in condizioni di forte sfuocamento, disegnare un box intorno all'immagine di una stella (o alla sua immagine fuori fuoco) brillante e non satura nei dintorni del centro del frame (zona meno aberrata).
- Dal "*control panel*" spingere il bottone "*focus*" selezionando l'opzione "*window frame*" per effettuare il download della sola zona selezionata.



- Spingere il bottone "*shot*" della finestra "*focus*" (*figura 15*) per effettuare un download veloce della zona selezionata. A questo punto eseguire numerosi "*shot*" consecutivi a diversi valori di fuoco fin quando il cerchio di confusione dell'immagine stellare sul frame è minimizzato. La modalità "*grab continous*" e <u>instabile</u> e causa crash improvvisi del programma.
- Raggiunto il miglior fuoco spingere "*pause*" W , quindi chiudere la finestra "*focus*".

### 5.2 ACQUISIZIONE DEL FRAME ASTRONOMICO

- Dal *"camera control"* impostare il tempo di posa scelto e spingere *"integrate"*. Durante l'esposizione e il download è preferibile non aprire altri applicativi Windows.
- Terminata l'acquisizione si deve procedere al salvataggio su disco fisso. Spingere il tasto di salvataggio dal pannello VISTA Lite, selezionare il formato FITS dal file manager, dare un nome all'immagine e spingere il bottone "*save*" (*figura 16*). Attenzione ricordarsi che le immagini non vengono registrate automaticamente



Figura 16

• Volendo riprendere una serie di immagini equispaziate temporalmente, tutte con lo stesso tempo di posa e stesso filtro, ci si può servire della modalità "sequence" (figura 17). Impostare il tempo di posa nel "camera control", spingere il bottone "sequence". Selezionare il formato FTS, il prefisso di ogni immagine, il numero totale di esposizioni e il numero dell'immagine di partenza. Abilitare le opzioni "DISK" e "DISPLAY" per il salvataggio su disco e la visualizzazione su monitor. Le immagini acquisite saranno salvate su disco con numeri progressivi.

SEQUENCE	
File Format	
File Format:	FTS
File Prefix:	ivbias15
Num.of Frame:	20
Start Number:	
Repeat Sequence:	1
Interval Delay:	0
DISPLAY	• DISK
CLEAR CCD	MEMORY
TRIGGER	BUN
🔲 1st TRIGGER	KUN

Figura 17

### 5.3 ACQUISIZIONE DI UN BIAS FRAME

Controllare che il sensore sia stabile alla temperatura di regime. Impostare il tempo di esposizione a *0 secondi* e spingere il tasto *"integrate"* dalla finestra *"camera control"*. Si può comandare il download di una sequenza di bias impostando i parametri della task *"sequence"*.

### 5.4 ACQUISIZIONE DI UN DARK FRAME

Controllare che il sensore sia stabile alla temperatura di regime. Impostare il tempo di esposizione scelto per l'immagine di oscurità dal "*camera control*" e spingere il bottone "*Dark*" tenendo presente l'accortezza sull'autocalibrazione descritta nel *paragrafo 2*. Alla fine della sequenza salvare i frames in FITS.

### 5.5 ACQUISIZIONE DI UN FLAT FIELD

Controllare che il sensore sia stabile alla temperatura di regime. Le immagini di flat field vanno eseguite per ogni filtro utilizzato nei frames scientifici. Una volta scelta la sorgente di illuminamento uniforme (Dome flat o Sky flat) e stabilito il numero medio di ADU per la normalizzazione, impostare il tempo di esposizione ottimale e spingere "*integrate*" dal "*camera control*" per lanciare l'esposizione. Anche in questo caso è possibile impostare delle sequenze di immagini dalla task "*sequence*".

## 6. Spegnimento del sistema

L'operazione richiede qualche minuto.

- 1. Dal "*camera control*" impostare la temperatura di esercizio al valore di +40 gradi e spingere il bottone "*set T*".
- 2. Dal "*camera control*" impostare la potenza di raffreddamento dei Peltier al valore di 5% e spingere il bottone "*cooler*".
- **3.** Attendere che l'indicatore della temperatura di esercizio sia stabile e coincidente al valore di temperatura del liquido del refrigeratore.
- **4.** Disabilitare i Peltier e il controllo della tempeatura con i bottoni "*cooler*" e "*set T*" del "*camera control*".
- 5. Chiudere il programma VISTA Lite cliccando su "File" ed "Exit".
- 6. Spegnere il Link ottico.
- 7. Spegnere il controller/driver.
- 8. Spegnere il refrigeratore.
- 9. Spegnere il PC di acquisizione.

## 7. Risoluzione problemi

In questa sezione vengono elencate le soluzioni ai problemi più comuni che fino ad ora si sono manifestati:

- 1. **CRASH del software VISTA**. Il problema più frequente riguarda il crash del programma VISTA. In questo caso spegnere il Link ottico e il Controller/driver. Lasciare acceso il refrigeratore. Disconnettersi dall'utente "**user**". Spegnendo il Controller viene disabilitato il controllo in temperatura che quindi comincerà a risalire. A questo punto riconnettersi come "**user**" e procedere alla inizializzazione come descritto nel *paragrafo 3*.
- 2. **INTERRUZIONE di corrente nell'edificio**. Il PC di acquisizione, il Link ottico e il Controller/driver sono tamponati da gruppi di continuità. A causa dell'eccessivo assorbimento il refrigeratore è alimentato dalla rete dell'edificio ed è destinato a spegnersi in caso di interruzione. Per evitare un eccessivo shock termico sul chip, procedere il più velocemente possibile allo spegnimento del sistema descritto nel *paragrafo 6*.
- 3. **TEMPERATURA eccessivamente bassa**. Se la temperatura del sensore rimane per troppo tempo al di sotto dei -25 gradi si possono formare cristalli di ghiaccio sul chip. In questo caso abbassare il valore del "*cooler*" fin quando il sistema si stabilizza alla temperatura coretta.
- 4. **MODALITA' FOCUS**. Se si procede con la funzione di acquisizione continua "grab continous" il sistema si blocca. In tal caso spegnere e riavviare sia il sistema sia il PC di acquisizione.

Nell'eventualità che si presentano problemi tecnici, sia della camera CCD sia del telescopio, diversi da quelli sopra elencati, è fortemente sconsigliato agire di propria iniziativa.

## 8. Conclusioni

Abbiamo focalizzato in pochi punti essenziali il procedimento per portare a termine una misura fotometrica con questa strumentazione. Il software di gestione della camera CCD è di concezione amatoriale, consente una vasta gamma di impostazioni tra cui uno "*script language*" (DCL) in grado di automatizzare molte operazioni che in questo rapporto non vengono descritti. I principali problemi riscontrati sono:

- Continue interferenze sulla rete di alimentazione che contaminano minimamente mediante pattern diversi i frames scientifici.
- Sporadiche instabilità del software di gestione che costringono al riavvio del sistema.

E' doveroso ringraziare il dott. Foppiani per la collaborazione prestata in fase di calibrazione della camera in laboratorio ed il dott. Diolaiti per la preziosa disponibilità nella progettazione ottica del riduttore di focale.

### **APPENDICE 1: BANDA PASSANTE FILTRI FOTOMETRICI**

• Filtro B.



• Filtro V.



• Filtro R.



• Filtro I.



### **APPENDICE 2: CARATTERISTICHE STRUMENTALI**

Sensore Pixel size Full Frame size Scala FOV FWC Conversione A/D Read Out Speed Range Dinamico RON Gain Risposta spettrale Linearità Dark Current Finestra Ottica Marconi ccd4710B 13.3mm X 13.3mm 13 $\mu$ m X 13 $\mu$ m 1055 px X 1026 px 0.79 arcsec/px 13.8 arcsec X 13.5 arcsec 100000 e<sup>-</sup> 16 bit (65500 greylevels) UNSIGNED 64 Kpx/sec (17 sec bin 1x1) 83.9 db @ -25 °C 14.1 e<sup>-</sup>/px @ -20 °C 1.13 ± 0.073 e<sup>-</sup>/ADU da 400 nm a 1100 nm < 0.9 % 0.6 e<sup>-</sup>/sec @ -20 °C Quarzo



