CELESTRON®

EDGEHD™

Dal Team Ingegneri Celestron

Traduzione: Plinio Camaiti e Fabio Sandrini

Celestron EdgeHD, una piattaforma flessibile per l'Imaging ad un prezzo abbordabile

A cura del Team di progettazione della Celestron

La serie Celestron EdgeHD è una serie di telescopi avanzata, a campo piano e con ottiche aplanatiche, progettati per l'osservazione visuale e per l'imaging con camere CCD astronomiche e con fotocamere reflex digitale full-frame (a pieno formato). Questo documento descrive gli obiettivi di sviluppo e le scelte progettuali che stanno dietro alla tecnologia EdgeHD e alla realizzazione pratica dei modelli con apertura da 8, 9.25, 11 e 14 pollici. Nel presente documento sono incluse sezioni dedicate alla serie EdgeHD, alle tabelle con le specifiche per l'uso visuale e per l'imaging, e i diagrammi a macchie (spot diagram) comparativi tra gli schemi EdgeHD e quelli degli Schmidt-Cassegrain concorrenti "Coma-Free" (privi di coma). Abbiamo inoltre descritto in dettaglio la costruzione e il processo di testing dei telescopi EdgeHD e abbiamo fornito istruzioni per il corretto montaggio dei sensori alla distanza ottimale di back-focus per applicazioni di Astroimaging.

1.INTRODUZIONE

Il classico Schmidt-Cassegrain (SCT) prodotto dalla Celestron ha servito un'intera generazione di osservatori e astrofotografi. Con l'avvento degli oculari grandangolari e ultra-wide-field, delle camere CCD di grande formato e delle fotocamere digitali full frame, gli svantaggi intrinseci dello schema ottico SCT classico hanno posto le condizioni per lo sviluppo di un nuovo schema ottico. Lo schema ottico EdgeHD ne è il risultato. La serie EdgeHD offre nitide immagini limitate solo dalla diffrazione, ottimali per l'osservazione ad alti ingrandimenti dei pianeti e la Luna. In qualità di astrografo aplanatico a campo piatto, le ottiche degli EdgeHD forniscono immagini stellari di piccole dimensioni, rotonde, da bordo a bordo su un campo piano di ben 42 millimetri di diametro con cui è possibile ottenere immagini di alta qualità, sia a colori che in bianco e nero, di oggetti del cielo profondo, consentendo anche l'imaging a banda stretta.

2.OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE DEI TELESCOPI EDGEHD

La storia del EdgeHD è iniziata con l'impostazione dei nostri obiettivi di performance, degli obiettivi di qualità, e degli obiettivi di prezzo. Come il classico SCT, la nuova ottica Celestron avrebbe avuto bisogno di essere leggero e compatta. Otticamente, abbiamo fissato due obiettivi primari. Innanzitutto, il nuovo telescopio doveva essere in grado di fornire straordinarie immagini visuali a largo campo con oculari ultrawide ad alte prestazioni. In secondo luogo, l'ottica doveva produrre astrofotografie nitide fino ai bordi sia con fotocamere reflex digitali che con camere CCD astronomiche. Infine, abbiamo voluto sfruttare la comprovata capacità di Celestron di produrre telescopi ad alte prestazioni ma dotati di prezzi abbordabili. In breve, abbiamo cercato di creare una piattaforma di imaging flessibile a un prezzo molto conveniente. Disponendo di un budget illimitato, non è difficile progettare ottiche ad alte prestazioni. La sfida accettata da Celestron è stata quella di controllare il prezzo, la complessità e i costi di fabbricazione senza compromettere le prestazioni ottiche. Abbiamo iniziato effettuando una rassegna completa del classico telescopio SCT e le possibili alternative.

Il nostro classico SCT possiede tre componenti ottici: uno specchio primario sferico, uno specchio secondario sferico, ed una lastra correttrice con una curva polinomiale. Come ogni costruttore di telescopi amatoriali e ottico professionista sa, una superficie sferica è la figura ottica più desiderabile. Nella fase di lucidatura di una lente o di uno specchio, il pezzo in lavorazione si muove sopra un utensile composto da pece ottica che lentamente si adatta alla superficie del vetro. Geometricamente, le uniche superfici che possono scorrere liberamente una contro l'altra sono sfere. Qualsiasi punto che è basso rispetto alla superficie sferica comune non viene toccato dall'utensile; e qualsiasi punto che risulta più alto viene invece asportato. Con questo processo si ottengono superfici sferiche quasi automaticamente. Un ottico specializzato che opera in un laboratorio ottico ben attrezzato è in grado di produrre in modo affidabile superfici sferiche praticamente perfette. Inoltre, confrontando la superficie ottica con una superficie di riferimento di alta precisione, possono essere rapidamente valutate sia il raggio che la sfericità.

In quaranta anni di produzione del suo classico Schmidt-Cassegrain, la Celestron ha raggiunto la piena padronanza dell'arte di costruire un gran numero di specchi primari e secondari con superficie sferica pressoché perfetta. Inoltre, la forza della Celestron risiedeva nella capacità di produrre lastre correttrici Schmidt. Nei primi anni 1970, Tom Johnson, il fondatore di Celestron, ha perfezionato le tecniche necessarie per la costruzione in serie delle lastre Schmidt. Prima di Johnson, La costruzione della lastra correttrice, simile a quella utilizzata sul telescopio Schmidt da 48 pollici di Monte Palomar, normalmente richiedeva molte lunghe ore di lavoro qualificato da parte di maestri ottici. Il metodo innovativo di produzione ideato da Johnson ha reso possibile la produzione di grandi quantità di questo componente ottico complesso e, in precedenza, molto costoso da costruire, dando il via alla "rivoluzione SCT" del 1970.

Per più di quarant'anni, lo schema SCT ha soddisfatto le esigenze di osservatori visuali e astrofotografi. Le sue prestazioni sono il risultato di una miscela di specchi sferici e della lente di Schmidt, prodotta con il rivoluzionario metodo di Johnson che permetteva di ottenere la complessa forma della superficie di Schmidt con la stessa facilità con cui si ottiene una superficie sferica. All'inizio del 21° secolo sono diventate popolari due tecnologie emergenti – gli oculari a grandissimo campo e le camere CCD di grande formato – che richiedevano immagini di alta qualità su un campo molto più ampio rispetto a quello che era possibile ottenere con i classici telescopi SCT. Perché? Lo schema classico SCT è ben corretto otticamente per le aberrazioni sull'asse ottico, cioè, nel centro esatto del campo visivo. Lontano dall'asse ottico, tuttavia, le sue immagini soffrono di due aberrazioni: il coma e la curvatura di campo. Il coma fa sì che le immagini fuori asse delle stelle si allarghino a ventaglio verso l'esterno; la curvatura di campo manda le immagini progressivamente fuori fuoco mano a mano che ci si allontana dall'asse ottico. Mentre gli oculari a largo campo sono diventati sempre più comuni e gli osservatori si sono dotati di camere CCD sempre più avanzate, le immagini fornite dai classici telescopi SCT si sono dimostrate inadeguate. Per soddisfare le necessità degli osservatori, abbiamo disegnato un nuovo schema ottico Celestron caratterizzato dall'assenza di coma e virtualmente dotato di zero curvatura di campo.

LA SERIE EDGEHD

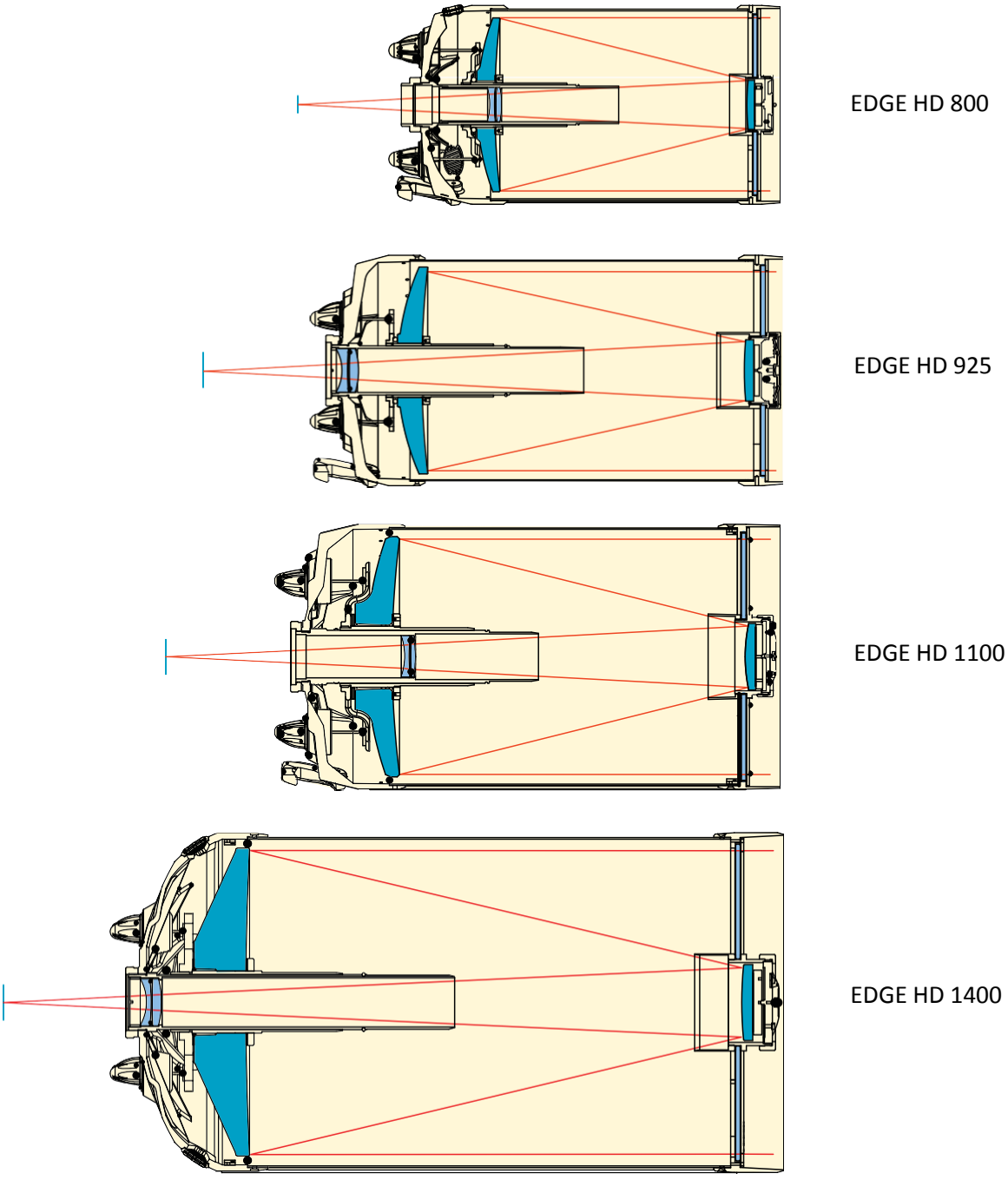


Figura 1. La serie Celestron EdgeHD è costituita da 4 telescopi aplanatici con aperture pari a 8, 9.25, 11 e 14 pollici. Il disegno ottico di ogni strumento è stato ottimizzato individualmente per fornire un piano focale piatto ed esente da coma. Ogni ottica EdgeHD produce immagini nitide fino ai bordi del campo con una vignettatura minima.

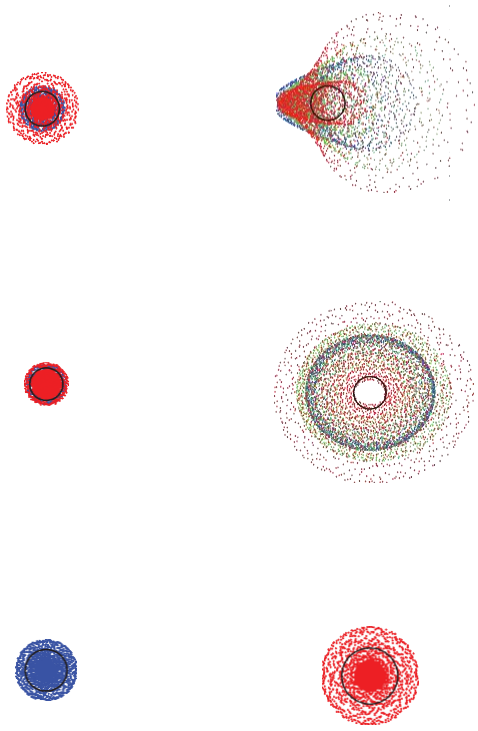
ABERRAZIONI OTTICHE

Per chi non ha confidenza con l'arte del disegno ottico, questo breve testo spiega cosa sono le aberrazioni e come esse appaiono in un'immagine fornita da un telescopio.

COMA FUORI ASSE La coma è una aberrazione extra-assiale (lontana dall'asse ottico) che si verifica quando i raggi luminosi provenienti da zone contigue vengono spostate verso l'esterno rispetto al raggio principale (centrale). Un'immagine stellare con coma appare dotata di un "ciuffo" luminoso o di piccole "ali" che si allargano fuori dall'immagine della stella. In un sistema ottico privo di coma, i raggi provenienti da tutte le zone sono centrate sul raggio luminoso centrale e pertanto le stelle appaiono rotonde in tutto il campo.

CURVATURA DI CAMPO La curvatura di campo si verifica quando le migliori immagini lontane dall'asse (dal centro) di un sistema ottico fanno a fuoco davanti o dietro l'immagine a fuoco in asse (al centro del campo). Il risultato è che le immagini stellari al centro del campo sono nitide mentre le immagini delle stelle lontane dall'asse ottico appaiono sempre più sfuocate mano a mano che ci si allontana dal centro. Un telescopio privo di curvatura di campo viene definito "flat field" (a campo piano) e produce immagini nitide su tutto il campo.

SFEROCROMATISMO Nei telescopi Schmidt-Cassegrain è presente "sferocromatismo" ma esso non è deleterio in schemi con piccole aperture e rapporti focali lunghi. Questa aberrazione si verifica perché la "potenza ottica" della lente correttrice Schmidt varia leggermente con la lunghezza d'onda della luce. Solo con aperture molto grandi o con telescopi SCT molto luminosi (con rapporto focale molto corto) lo sferocromatismo diventa un problema.



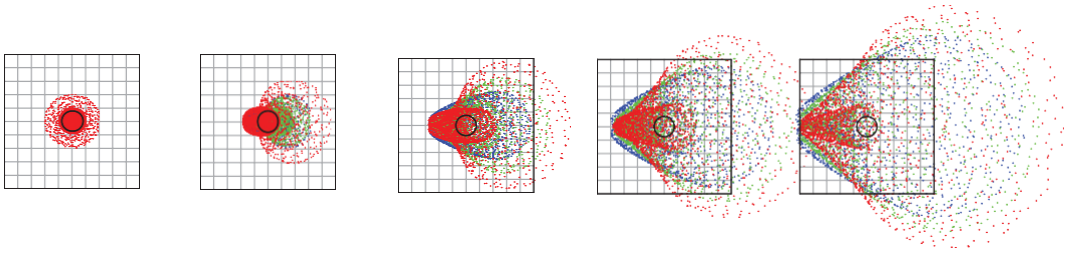
3. INGEGNERIZZAZIONE DI UN NUOVO ASTROGRAFO

Non abbiamo preso alla leggera il compito di migliorare il classico telescopio SCT. I suoi due specchi sferici e il nostro metodo di produzione delle lenti correttrici ci hanno consentito di offrire un telescopio di alta qualità ad un basso costo. Abbiamo valutato i pro e i contro della produzione di un Cassegrain di tipo Ritchey-Chrétien (R-C), ma il costo e la complessità della produzione dei suoi specchi iperbolici, oltre agli svantaggi a lungo termine di un telescopio a tubo aperto ci hanno dissuaso dal fare questa scelta. Abbiamo anche progettato e costruito due prototipi di telescopi CDK (Dall-Kirkham a campo corretto) ma la forma ellittica dello specchio primario portava inevitabilmente ad ottenere uno strumento troppo costoso. Anche se gli R-C e i CDK sono ottimi strumenti, noi volevamo produrre telescopi fotografici di qualità altrettanto fine ma ad un prezzo più abbordabile per la clientela. Come abbiamo già evidenziato, lo scopo più importante del nostro progetto era quello di eliminare il coma e la curvatura di campo su un campo sufficientemente ampio da coprire quello inquadrato da una fotocamera reflex digitale (DSLR) con sensore full-frame o di una camera CCD astronomica di alta gamma. Questo significava impostare il campo illuminato a 42mm di diametro, che è la diagonale del formato 24x36mm. Ovviamente, ogni schema ottico in grado di illuminare correttamente il pieno formato avrebbe funzionato bene anche le fotocamere DSRL (e mirrorless) digitali meno costose dotate di sensore APS-C e delle camere CCD meno costose.

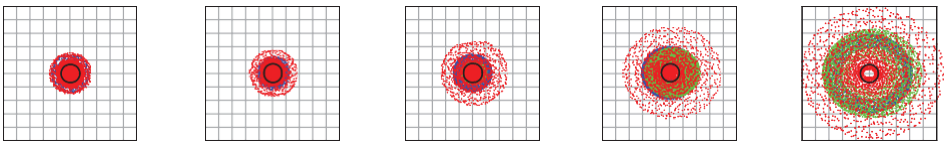
Ci sono molti modi per modificare il classico SCT per ridurre o eliminare il coma. Sfortunatamente, questi metodi non consentono di risolvere il problema della curvatura di campo. Per esempio, avremmo potuto sostituire uno degli specchi sferici, o il primario o il secondario, con uno specchio asferico (ovvero: "non sferico"). La costruzione di uno specchio secondario iperbolico (che è il più piccolo dei due specchi) era una scelta ovvia. Anche se questo ci avrebbe dato il risultato di ottenere un sistema privo di coma, la sua mancata correzione della curvatura di campo avrebbe lasciato irrisolto il problema delle stelle sfuocate ai bordi del campo. Ci siamo anche preoccupati del fatto che, asferizzando lo specchio secondario, il telescopio privo di coma avrebbe potenzialmente avuto delle zone che avrebbe potuto diffondere la luce, compromettendo la risoluzione ad alti ingrandimenti che gli osservatori visuali si aspettano da un telescopio astronomico. Inoltre lo specchio secondario asferico comporta la necessità di ottenere e mantenere una perfetta collimazione, aumentando la complessità meccanica dell'intubazione. L'ispirazione per la progettazione delle ottiche EdgeHD ci è venuta combinando le migliori caratteristiche dello schema CDK con le migliori caratteristiche del classico SCT. Abbiamo posizionato due piccole lenti nel fascio di luce convergente verso il fuoco e abbiamo ri-ottimizzato l'intero telescopio per ottenere prestazioni soddisfacenti dal centro fino ai bordi. Nell'EdgeHD, gli specchi primario e secondario conservano la loro forma perfetta forma sferica e anche il correttore Schmidt conserva inalterata la sua forma. Le due piccole lenti fanno un grande lavoro di correggere le aberrazioni, comportando solo un aumento di prezzo moderato del prodotto finale. Inoltre, conservando gli elementi chiave del classico SCT, lo schema EdgeHD è compatibile con il popolare accessorio Starizona Hyperstar.

PERFORMANCE OTTICHE DEI TELESCOPI EDGE HD IN COMPARAZIONE CON ALTRI SCT

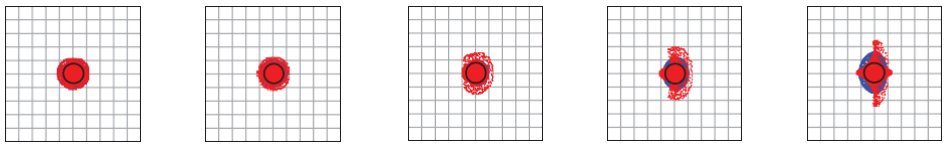
SCT CLASSICO



“COMA FREE” SCT



EDGE HD



On-Axis 5.00 mm 10.00 mm 15.00 mm 20.00 mm

FIGURA 2. I Matrix Spot diagram consentono di confrontare le prestazioni dal centro ai bordi dei classici SCT, degli SCT “privi di coma” e dell’EdgeHD. Lo schema EdgeHD chiaramente supera in prestazioni gli altri sistemi ottici. Il classico SCT mostra un evidente coma. L’SCT “privo di coma” è effettivamente senza coma, ma la curvatura di campo provoca la formazione di immagini stellari diffuse e fuori fuoco. In confronto, le immagini stellari prodotte dall’EdgeHD sono piccole, concentrate e restano piccole dall’asse fino ai bordi del campo.

4. PRESTAZIONI OTTICHE DELL'EDGE HD

Il disegno ottico comporta un complesso bilanciamento tra prestazioni ottiche, tolleranze meccaniche, costi, fabbricabilità, ed esigenze della clientela. Durante la progettazione dello schema EdgeHD, abbiamo dato la priorità alle prestazioni ottiche: lo strumento sarebbe dovuto essere limitato solo dalla diffrazione in asse, completamente esente da coma e con il campo totalmente piatto fino ai bordi estremi. (Infatti, il nome EdgeHD deriva proprio dal fatto che la superficie focale è piatta fino ai bordi – Edge in inglese). La figura 2 mostra il diagramma a macchie ottenuto con il tracciamento dei raggi luminosi per lo Schmidt-Cassegrain classico da 14 pollici, per uno SCT "coma free" (esente da coma) e per l'EdgeHD 14". Abbiamo usato il software professionale ZEMAX® per il tracciamento dei raggi luminosi per disegnare l'EdgeHD e per produrre i diagrammi che pubblichiamo in questo documento.

Ogni diagramma a macchie comprende macchie relative a tre lunghezze d'onda: rosso (0.656µm), verde (0.546µm), e blu (0.486µm) per cinque posizioni del fuoco: in asse, e alle distanze di 5mm, 10mm, 15mm e 20mm dall'asse ottico. Il campo inquadrato ha un diametro di 40mm, appena sotto il cerchio immagine di 42mm dell'EdgeHD e le lunghezze d'onda prese in considerazione nei diagrammi comprendono quelle visibili dall'occhio umano adattato al buio e le lunghezze d'onda usate più spesso nelle riprese di immagini astronomiche del cielo profondo.

Nella matrice delle macchie, esaminate la colonna di sinistra. Queste sono le immagini stellari lungo l'asse ottico (al centro). Il cerchio nero di ogni diagramma rappresenta il diametro del disco di Airy. Se la maggioranze dei raggi cadono all'interno del disco di Airy, un'immagine stellare osservata ad alti ingrandimenti sarà limitata quasi interamente dalla diffrazione, e di conseguenza si dice che essa è "diffraction limited" (limitata dalla diffrazione). Con questo standard, tutti e tre i disegni SCT sono limitati dalla diffrazione sull'asse ottico. In ogni caso, il correttore Schmidt rimuove la maggior parte dell'aberrazione sferica per la luce verde. Siccome l'indice di rifrazione del vetro usato nelle lastre correttrici varia con la lunghezza d'onda, il correttore Schmidt consente solo una piccola quantità di aberrazione sferica di restare alle lunghezze d'onda rossa e blu. Questa aberrazione viene chiamata sferocromatismo che vuol dire che l'aberrazione sferica è differente a seconda del colore della luce. Mentre i raggi verdi convergono in un punto praticamente perfetto, i raggi rossi e blu riempiono o vanno fuori leggermente dal disco di Airy. Numericamente, il raggio del disco di Airy è 7.2µm, (diametro 14.4µm) mentre il raggio RMS delle macchie a tutte e tre lunghezze d'onda è di 5.3µm (10.6µm diameter). Siccome l'occhio umano è considerevolmente molto più sensibile alla luce verde di quanto non lo sia al rosso o al blu, le immagini nell'oculare appariranno praticamente perfette anche ad un osservatore esperto.

Lo sferocromatismo dipende dall'entità della correzione, o dal potere rifrattivo della lente Schmidt. Per minimizzare lo sferocromatismo, gli Schmidt-Cassegrain ad alte prestazioni sono stati progettati, tradizionalmente, con luminosità f/10 o con luminosità inferiori. Quando vengono spinti ad a rapporti focali più veloci di f/10 (ad esempio f/8, f/6, ecc.) lo sferocromatismo aumenta in modo indesiderabile. Successivamente, effettuando un confronto tra l'EdgeHD con il classico SCT e con l'SCT "senza coma" si può vedere che le immagini fuori asse nel telescopio SCT classico è fortemente affetto da coma. Come ci si poteva attendere, le immagini generate dall'SCT "senza coma" non mostrano la forma "a ventaglio" dovuta al coma ma fuori asse diventano piuttosto ingrandite. Questo è il risultato della curvatura di campo.

La Figura 3 illustra come la curvatura di campo influisce sulle immagini fuori asse. In un telescopio dedicato all'imaging, ci si aspetta che i raggi fuori asse vadano a fuoco sulla superficie piana del sensore CCD o CMOS di una camera astronomica o di una reflex DSLR. Ma sfortunatamente, con la curvatura di campo, i raggi fuori asse vanno a fuoco nitidamente su una superficie curva. In un SCT "senza coma", le immagini stellari fuori asse vanno invece a fuoco prima del sensore CCD.

Al bordo di un campo da 40mm di diametro, le stelle generate da un telescopio SCT "senza coma" raggiungono diametri fino a 100 µm. Le immagini ai bordi del campo appaiono grandi, morbide e fuori fuoco.

Allo stesso tempo, ai bordi del suo campo da 40mm di diametro, le immagini dell'EdgeHD si sono allargate solo leggermente, raggiungendo un raggio RMS di 10.5µm (diametro 21µm). Ma siccome i raggi verdi sono fortemente concentrati verso il centro e siccome ogni raggio, incluse le deboli "ali" dei raggi rossi, cadono all'interno di un cerchio di soli 50 µm di diametro, le immagini dell'EdgeHD possono essere considerate accettabili fino ai bordi estremi dell'immagine catturata dal sensore a pieno formato di una camera DSLR. La curvatura di campo ha un impatto negativo nell'imaging quando si vogliono ottenere immagini di alta qualità in tutto il campo inquadrato. Le Figure 4 e 5 dimostrano chiaramente gli effetti della curvatura di campo nei telescopi da 8 e 14 pollici. Si Nota come i diagrammi a macchie cambiano con la distanza dall'asse ottico e con il fuoco. Una distanza del fuoco negativa significa che esso si trova più vicino al telescopio; una distanza positiva significa che il fuoco è più lontano. Nell'EdgeHD, le macchie più piccole cadono tutte nella stessa posizione del fuoco. Se si mette a fuoco su una stella al centro del campo, le stelle presenti in tutto il campo saranno a fuoco.

In confronto, le immagini stellari più nitide al bordo del campo dei telescopi "coma free" (privi di coma) andranno a fuoco davanti al migliore fuoco lungo l'asse ottico. Se mette a fuoco il centro dell'immagine, le stelle diventeranno progressivamente ingrandite mano a mano che ci si allontana dall'asse ottico. La cosa migliore che si può fare è di mettere a fuoco in una posizione di compromesso, intermedia tra il centro e i bordi, ed accettare immagini stellari leggermente sfuocate sia in asse che ai bordi del campo. Ogni progettista ottico esperto può, usando un software di ray tracing ottico, replicare e verificare questi risultati. I dati mostrano che la sola eliminazione del coma non è sufficiente per produrre buone immagini su tutto il campo inquadrato. Per l'imaging a cui si richiedono alte prestazioni, è necessario scegliere un telescopio che sia corretto sia dal coma che dalla curvatura di campo fuori asse. Ed è quello che si ottiene con le ottiche EdgeHD, ad un prezzo abbordabile.

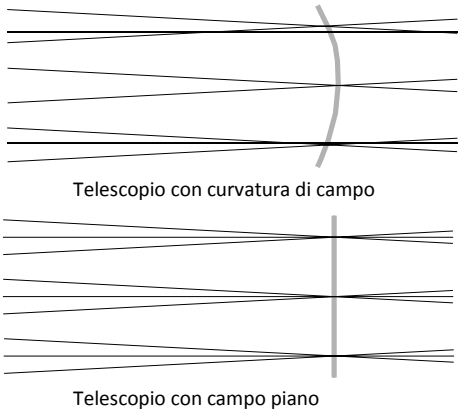


Figura 3. In un sistema ottico con curvatura di campo, gli oggetti non sono nitidamente a fuoco su una superficie piatta. Invece, i raggi fuori asse vanno a fuoco dietro o davanti al punto dove vanno a fuoco i raggi lungo l'asse ottico, al centro del campo. Il risultato che si ottiene sono immagini stellari fuori asse allargate in quanto leggermente sfuocate.

5. MIGLIORAMENTI DEL DISEGNO MECCANICO

Per garantire che i telescopi EdgeHD esprimano completamente il loro potenziale ottico, abbiamo anche riprogettato i componenti meccanici cruciali dei tubi ottici. Con i telescopi SCT classici, ad esempio, l'osservatore può portare a fuoco il sistema ottico a differenti posizioni del piano focale posto dietro al sistema ottico, modificando la lunghezza focale effettiva del telescopio. Questo però causa aberrazione sferica lungo l'asse ottico e aumenta le aberrazioni fuori asse. Nella serie EdgeHD, la distanza del piano focale (in gergo si chiama "backfocus" o retrofuoco) è ottimizzata e impostata su una precisa distanza dietro allo specchio primario. Ogni EdgeHD viene fornito con un porta oculari che posiziona l'oculare alla precisa distanza di backfocus, e il nostro Adattatore fotografico T-Adapter per EdgeHD posiziona automaticamente le fotocamere digitali DSLR alla distanza ottimale.

Come parte integrante del nuovo progetto ottico, abbiamo posizionato gli specchi primario e secondario più vicini di quanto non lo siano nel disegno SCT classico e abbiamo progettato nuovi tubi paraluce per entrambi gli specchi che permettono di ottenere un campo illuminato più ampio. Per assicurare una piena compatibilità con l'interessante accessorio Starizona Hyperstar che permette di fotografare al rapporto focale f/1.9 con l'EdgeHD 800 ed f/2 con i modelli EdgeHD 925, 1100 e 1400, tutti gli EdgeHD sono equipaggiati con specchio secondario removibile.

Siccome copre un grande campo, gli elementi ottici dell'EdgeHD devono ammettere tolleranze di centraggio e di allineamento considerevolmente più strette di quelle ammesse per il sistema ottico SCT classico. Per esempio, siccome la lastra correttrice Schmidt deve restare perfettamente centrata, l'abbiamo fissata con viti laterali di allineamento dotate di punta di Nylon morbido. Le viti vengono regolate sul banco ottico durante le fasi di montaggio, mentre viene centrata la lastra correttrice. Una volta che questa regolazione risulta perfetta, le viti vengono serrate e sigillate con un collante per fissare la lente Schmidt nella sua posizione corretta. Questa piccola modifica meccanica assicura che la lastra correttrice e lo specchio secondario ad esso collegato rimangano ben allineati dal punto di vista ottico.

Il centraggio dello specchio primario è anche più importante. Nel classico SCT, lo specchio primario è fissato ad un tubo scorrevole che realizza la messa a fuoco. Quando si mette a fuoco il telescopio, la manopola di messa a fuoco muove lo specchio primario in senso longitudinale. Quando il movimento viene invertito, il tubo che trasporto lo specchio primario può inclinarsi leggermente sul tubo paraluce, provocando lo spostamento dell'immagine osservata. Nel classico SCT questo spostamento non ha effetti significativi sulla qualità delle immagini lungo l'asse ottico. Tuttavia, nell'EdgeHD, le immagini fuori asse potrebbero essere degradate da questo spostamento. Siccome all'interno del tubo paraluce degli EdgeHD si trovano le lenti del correttore ottico mentre lo specchio primario si trova fuori, lo abbiamo fabbricato con una tolleranza meccanica molto stretta. Il tubo che supporta il il primario è stato ridisegnato con una flangia di centraggio, che si trova a diretto contatto con la superficie ottica frontale dello specchio. Quando lo specchio primario viene assemblato sul tubo di messa a fuoco e fissato con un collante, questa piccola modifica meccanica garantisce il preciso centraggio meccanico dell'insieme. Durante la fase seguente di assemblaggio, il tubo di messa a fuoco solidale al primario viene posizionato in un mandrino di test. Ruotando lo specchio primario verifichiamo che esso sia montato correttamente per assicurare che venga mantenuta la qualità delle immagini che si aspetta dal sistema ottico. In ogni sistema ottico dotato di specchio primario mobile, il movimento laterale delle immagini che si nota quando l'utente inverte il senso di rotazione della manopola di messa a fuoco può essere considerato fastidioso. Nei telescopi Celestron SCT ed EdgeHD abbiamo ristretto le tolleranze meccaniche per ridurre al minimo questo spostamento. Durante l'assemblaggio e i test, misuriamo il "focus shift"; ogni esemplare che ha uno spostamento superiore ai 30 arcosecondi viene scartato ed inviato di nuovo alla catena di montaggio per essere rilavorato.

Negli SCT classici gli astroimager talvolta notano uno spostamento delle immagini quando il telescopio insegue a cavallo del meridiano. Il meccanismo di messa a fuoco serve come uno dei punto di supporto per lo specchio. Nell'EdgeHD abbiamo aggiunto due astine in acciaio inox sul retro della cella che sostiene lo specchio primario. Quando le due manopole di blocco poste sul retro della cella dello tubo ottico sono serrate, alcuni cilindretti di alluminio vanno a premere contro le astine di acciaio inox, creando due punti ulteriori di supporto per la stabilizzazione dello specchio primario (vedi Figura 6).

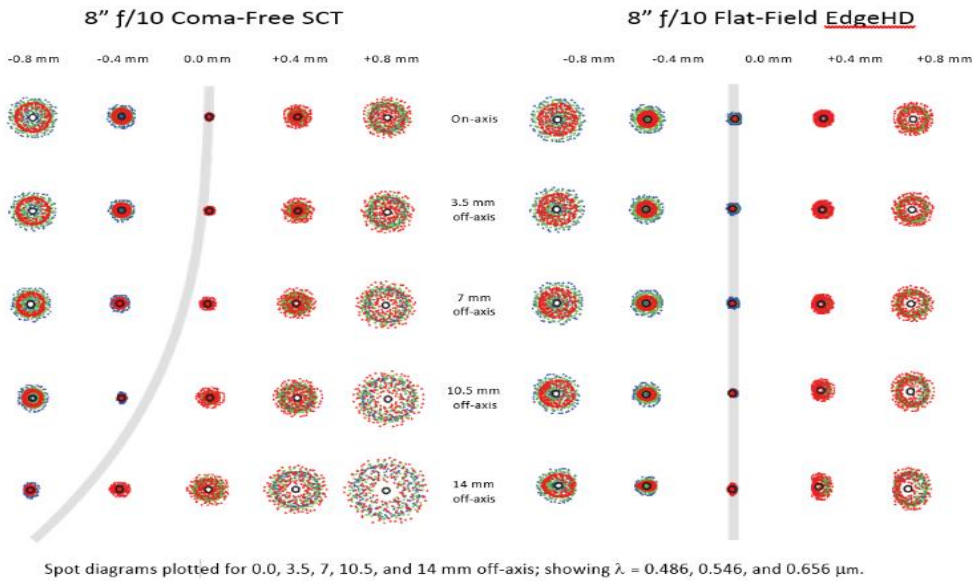


Figura 4. Il confronto delle immagini stellari formate da un SCT "privo di coma" con quelle formate da un EdgeHD. Le immagini stellari più nitide formate dall'SCT "privo di coma" seguono la curva grigia, andando a fuoco approssimativamente 0.6mm davanti al piano focale. Nell'EdgeHD, le piccole immagini stellari vanno a fuoco sul piano focale su tutto il campo inquadrato, il che significa che le immagini saranno nitide e a fuoco sull'intero campo fotografato.

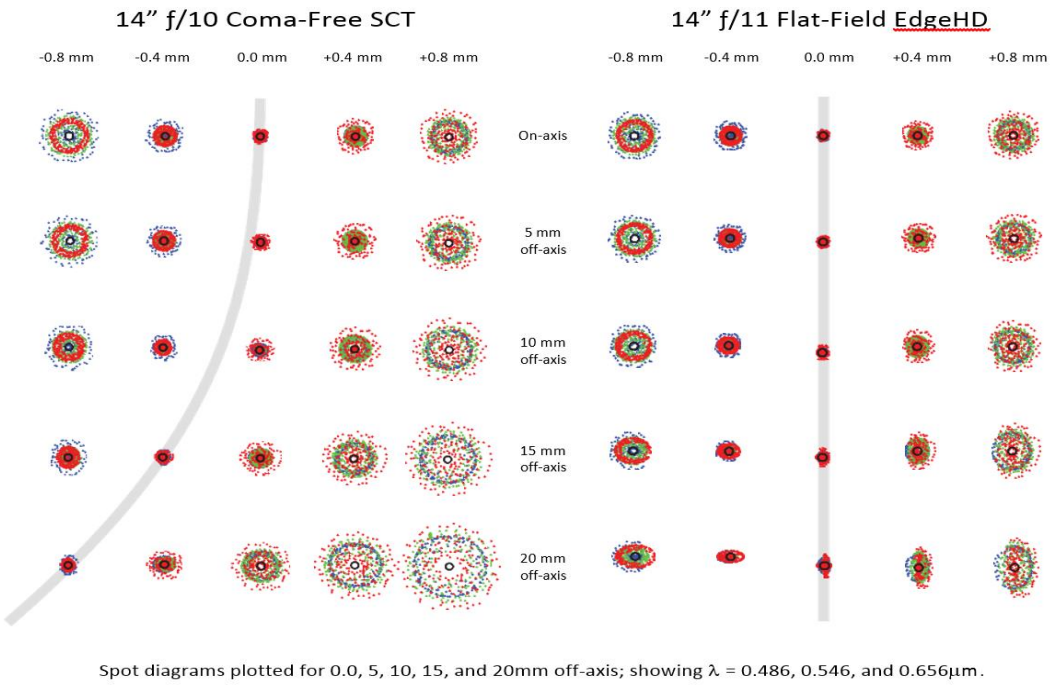


Figura 5. In un SCT “privo di coma” da 14 pollici, le più piccole immagini fuori asse giacciono su una superficie focale curva indicata dalla linea grigia. Siccome i sensori delle camere CCD e delle reflex digitali sono piatti, è ovvio che un sistema ottico che produce immagini su una superficie curva darà luogo a immagini dilatate al bordo del campo. Nel disegno ottico aplanatico EdgeHD, le più piccole immagini stellari fuori asse giacciono su una superficie piatta. Le stelle sono piccole e nitide dal centro ai bordi del campo.

I tubi dei telescopi devono “respirare” non solo per favorire il raffreddamento delle ottiche, ma anche per prevenire l’accumulo di umidità e la possibile condensazione all’interno del tubo. Nei telescopi SCT classici, l’aria può entrare attraverso l’apertura posteriore del tubo paraluce. Nell’EdgeHD, le lenti che si trovano nel paraluce chiudono in modo efficace il tubo. Per favorire lo scambio di aria, abbiamo aggiunto due aperture laterali di ventilazione con filtri da 60 micrometri in acciaio inox che impediscono l’ingresso di polvere ma che permettono il libero passaggio dell’aria.

In un telescopio progettato per l’imaging, gli utenti si aspettano di poter attaccare pesanti ruote porta filtri, fotocamere reflex digitali e camere CCD astronomiche al fuoco del telescopio. Abbiamo progettato gli attacchi filettati posteriori dei telescopi EdgeHD 925, 1100 e 1400 con una robusta filettatura da 3.290”x16 tpi (diametro 83.566mm e 16 filetti per pollice) e abbiamo posizionato il piano focale alla abbondante distanza di 5.75 pollici (146,05mm) dietro la faccia posteriore piatta del dado di bloccaggio del tubo paraluce. La filettatura posteriore del modello EdgeHD 800 resta invece pari alla misura standard i 2.00 x 24 tpi (50.8mm x 24 filetti per pollice) con una distanza di back focus pari a 5.25 pollici (133,35mm).

Molti produttori indipendenti offrono fuocheggiatori, rotatori, ruote porta filtri e camere di ripresa che sono totalmente compatibili con la filettatura e con la distanza di back focus degli astrografi EdgeHD.

6. LA FABBRICAZIONE DELLE OTTICHE EDGEHD

Ogni astrografo EdgeHD è composto da 5 elementi ottici: una lastra correttrice asferica Schmidt, uno specchio primario sferico, uno specchio secondario sferico e due lenti correttrici di diametro più piccolo. Ognuno degli elementi è fabbricato in modo che corrisponda alle strette tolleranze di lavorazione richieste da un progetto ottico ad alte prestazioni. La Celestron applica più di 40 anni di esperienza nell’arte di levigare, lucidare e testare ottiche di telescopi astronomici ad ognuno dei componenti di ogni telescopi EdgeHD. Le nostre stringenti specifiche ed accurati test vengono ripetuti per garantire che ogni singola ottica non solo abbia buone prestazioni durante le osservazioni planetarie visuali ad alto ingrandimento, ma che essa fornisca eccellenti immagini a grande campo, perfette da bordo a bordo. Ciò nonostante, noi non ci affidiamo mai al caso; sia prima che dopo il montaggio, testiamo e correggiamo ogni singolo set di ottiche fino ad ottenere il risultato richiesto.

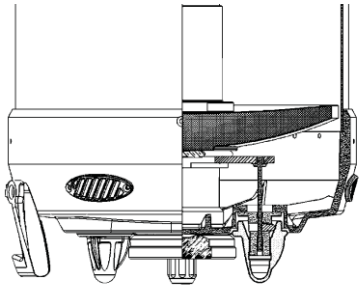


Figura 6. Il meccanismo di blocco dello specchio mostrato in questo disegno in sezione previene lo spostamento dello specchio primario durante le lunghe esposizioni che si utilizzano per l’imaging degli oggetti del cielo profondo. Il fondatore della Celestron, Tom Johnson, ha inventato il processo rivoluzionario che viene usato per produrre le lastre correttrici Celestron. Con il passare degli anni, il suo originale procedimento è stato sviluppato ed affinato. Attualmente, noi fabbrichiamo lastre correttrici con lo stesso livello di semplicità e riproducibilità che gli ottici si attendono quando producono ottiche con superfici sferiche. Ogni lastra correttrice inizia la sua vita come una lastra di vetro “soda lime” di colore water-white, ad alta trasmissione, con basso contenuto in ferro. Durante la produzione delle lastre di vetro, il vetro fuso viene estruso su un contenitore di stagno fuso, in cui il vetro galleggia sul denso metallo fuso. La superficie di stagno fuso è

quasi perfettamente piano (il suo raggio di curvatura è il raggio del pianeta Terra!), e il vetro float è ugualmente piano.
Noi tagliamo gli sbozzi delle lastre correttrici da grandi lastre di vetro, poi li facciamo passare attraverso una macchina che ne lavora entrambe le facce, smerigliandole e lucidandole per ottenere una qualità ottica. Gli sbozzi vengono esaminati e quelli difettosi vengono scartati. Il metodo Johson/Celestron per la produzione della curva asferica polinomiale è basato su sulla precisione dei "master" che hanno una forma esattamente inversa rispetto alla curva desiderata. Noi puliamo il pezzo "master" e lo sbozzo della lastra correttrice e successivamente, facendo il vuoto a partire dal centro del pezzo master, mettiamo a stretto contatto ottico i due pezzi, escludendo la presenza di impurità, polvere o aria tra di loro, pieghiamo delicatamente il disco di vetro fino a farlo coincidere con la curvatura inversa del pezzo master. A questo punto prendiamo i due pezzi a stretto contatto e lavoriamo la superficie superiore della lastra correttrice fino a fargli assumere una superficie sferica concava lucidata. Con la lastra correttrice ancora aderente al pezzo master, un ottico testa il raggio di curvatura e la forma ottica della nuova superficie rispetto ad una piastra di riferimento di alta precisione (nota come piastra ottica di test o vetro di test) usando il metodo dell'interferenza ottica per leggere gli anelli di Newton o le frange di interferenza, come mostrato nella figura 7. Se il raggio della superficie giace con una tolleranza da zero a 3 frange (circa 1.5 lunghezze d'onda della luce, o una concavità di 750 nm) e l'irregolarità della superficie è inferiore alla metà di una frangia (1/4 della lunghezza d'onda della uce), allora il correttore verrà separato dal pezzo master, togliendo il vuoto. Il sottile disco di vetro tornerà, per reazione elastica, alla sua forma originale, e quindi il lato che si trovava a contatto il pezzo master diventerà piano e la superficie lucidata assumerà la forma di una lente correttrice di Schmidt.

Il correttore viene testato di nuovo, questa volta in un auto-collimatore a doppio passaggio. Un raggio laser a 532nm (verde) entra attraverso un oculare, colpisce gli specchi secondario e primario e di un EdgeHD, passerà attraverso la lente correttrice sotto test, verrà poi riflesso da uno specchio primario piano di alta precisione, tornerà indietro attraverso il correttore per essere riflesso di nuovo dai due specchi del telescopio e finalmente tornerà nel fuoco. Siccome la luce passa due volte attraverso la lastra correttrice Schmidt, tutti gli errori verranno visti raddoppiati. Il test di auto-collimazione a doppio passaggio (vedi Figura 9) assicura che ogni lastra correttrice Schmidt sia conforme alle stringenti caratteristiche ottiche richieste dal sistema ottico EdgeHD.

FIGURA 7. I banchi di verifica utilizzano le frange di interferenza per controllare il raggio e la qualità della lucidatura delle lastre correttrici. In questa figura, un disco di vetro destinato a diventare un correttore Schmidt è attaccato ad un pezzo master. Il banco di verifica si trova in alto; le frange di diffrazione appaiono come cerchi verdi e blu. La presenza di un immagine circolare indica una differenza di raggio.

Gli specchi primari iniziano la loro storia come dischi di vetro borosilicato a basso coefficiente di espansione fusi e stabilizzati, con una superficie posteriore molata con forma conica per ridurre il peso e con una superficie frontale concava. Lo sbozzo di fusione viene molato al bordo e il foro centrale viene praticato all'esatto centro del disco; il raggio di curvatura della superficie centrale viene misurato grossolanamente. Gli ottici Celestron lavorano la superficie frontale degli specchi primario con una serie di attrezzi diamantati a granulometria progressivamente più fine usando macchinari ad alta velocità, poi li trasferiscono all'interno di una stanza priva di granuli di sostanze abrasive dove vengono lucidati fino ad ottenere una superficie sferica precisa. Il raggio di curvatura e la figura ottica di ogni specchio vengono controllati usando un disco convesso di riferimento, dotato dello stesso raggio di curvatura. Quando le frange di interferenza indicano che il raggio è preciso entro +/-1 frangia di diffrazione dal raggio nominale e che l'irregolarità della superficie è inferiore ad ¼ di una frangia, lo specchio viene sottoposto ad un test finale usando il classico null-test usato da tutti i costruttori ottici professionisti. Dopo questo test, ogni specchio primaio viene portato nel laboratorio Interferometrico QA – visibile nella figura 10 – dove l'irregolarità della superficie di ogni specchio viene verificata, tramite l'interferometro, in modo che sia conforme alle specifiche.

Anche il piccolo specchio secondario è fatto di vetro borosilicato a basso coefficiente di espansione. Come i primari, i secondari vengono sbordati e centrati, poi lavorati fino a raggiungere il corretto raggio di curvatura e infine lucidati. Il secondario è uno specchio convesso, e pertanto durante la lavorazione viene testato rispetto ad una dima concava di riferimento per verificare sia il raggio di curvatura che la figura ottica. Gli specchi secondari vengono anche inviati al laboratorio che effettua i test interferometrici dove vengono misurati con metodo interferometrico sia il raggio che le irregolarità di ogni specchio per verificare che ognuno di essi sia esattamente conforme alle specifiche. Quando abbiamo progettato il sistema ottico EdgeHD, abbiamo fortemente voluto adottare superfici sferiche in quanto una sfera può essere testata con l'interferometria ottica con alta precisione in pochi minuti. Se avessimo adattato una superficie iperbolica per lo specchio secondario, saremmo stati costretti ad usare metodi di test più lenti e meno precisi che avrebbero potuto non rilevare la presenza di errori zonali. Inoltre, i disegni ottici Coma-Free (privi di coma) con specchi iperbolici non sono corretti dalla curvatura di campo, un'aberrazione che abbiamo fin dall'inizio deciso di evitare quando abbiamo progettato il disegno EdgeHD. Infine, le lenti correttrici vengono costruite seguendo le stesse tecniche di fabbricazione usate quando si costruiscono gli obiettivi dei telescopi rifrattori ad alte prestazioni. Il disegno EdgeHD utilizza vetro ottico prodotto dalla vetreria ottica Schott AG. I modelli da 8", 9.25" e 11" usano vetri N-SK2 e K10, mentre il modello da 14" usa i vetri N-SK2 e N-BALF2. Per assicurare l'omogeneità, il vetro ottico viene costruito in lotti relativamente piccoli, estruso in colate. Il vetro grezzo viene quindi lavorato con utensili diamantati fino a raggiungere diametro, spessore e raggio corretti. Ogni sbozzo di vetro viene quindi lavorato con abrasivi e poi lucidato, poi i raggi e le figure ottiche vengono confrontate con superfici di riferimento per assicurare che siano conformi alle strette tolleranze richieste dal progetto EdgeHD.

Le nostre stazioni di assemblaggio sono la replica dei banchi ottici usati per valutare la qualità delle lastre correttrici. Lo specchio primario e la lastra correttrice vengono inseriti in morsetti di supporto cinematici e poi piazziamo lo specchio secondario nel suo supporto. Le lenti correttrici/spianatrici sono conformi così strettamente alle specifiche che noi usiamo nella stazione di assemblaggio un set di lenti standard. Un raggio laser che parte dalla posizione del fuoco viene fatto passare attraverso le ottiche, riflesso da uno specchio piano in auto collimazione, quindi torna indietro attraverso l'intero sistema ottico.

Testato in auto collimazione, l'ottico può rilevare e correggere errori delle superficie considerevolmente più piccoli di 25 micron.

Se il set ottico così assemblato mostra piccoli errori residui sotto forma di sotto o sovra-correzione, zone, astigmatismo, bordi elevati o ribattuti, "crateri" o "colline", l'ottico segna le ombre di transizione del test di Focault sullo specchio secondario, quindi lo rimuove dal supporto e trasferisce questi segni su un foglio di carta millimetrata. Il foglio viene premuto contro un utensile di lucidatura ricoperto con una patina di pece e l'ottico applica la lucidatura di correzione allo specchio secondario - vedi la Figura 11 - fino a quando l'intero sistema ottico mostra un'illuminazione perfettamente uniforme (senza zone od ombre indesiderate) quando è sottoposto al test di Focault in autocollimazione a doppio passaggio e frange di diffrazione morbide e dritte nel test di Ronchi a doppio passaggio. La figura del disco di Airy nella posizione all'interno del fuoco viene valutata per la sua rotondità, un singolo anello di diffrazione uniforme, e senza luce diffusa. Oltre a questo, le figure di diffrazione intra ed extrafocale devono mostrare la stessa struttura e l'oscuramento centrale su entrambi i lati del fuoco, e devono apparire rotondi e uniformi.

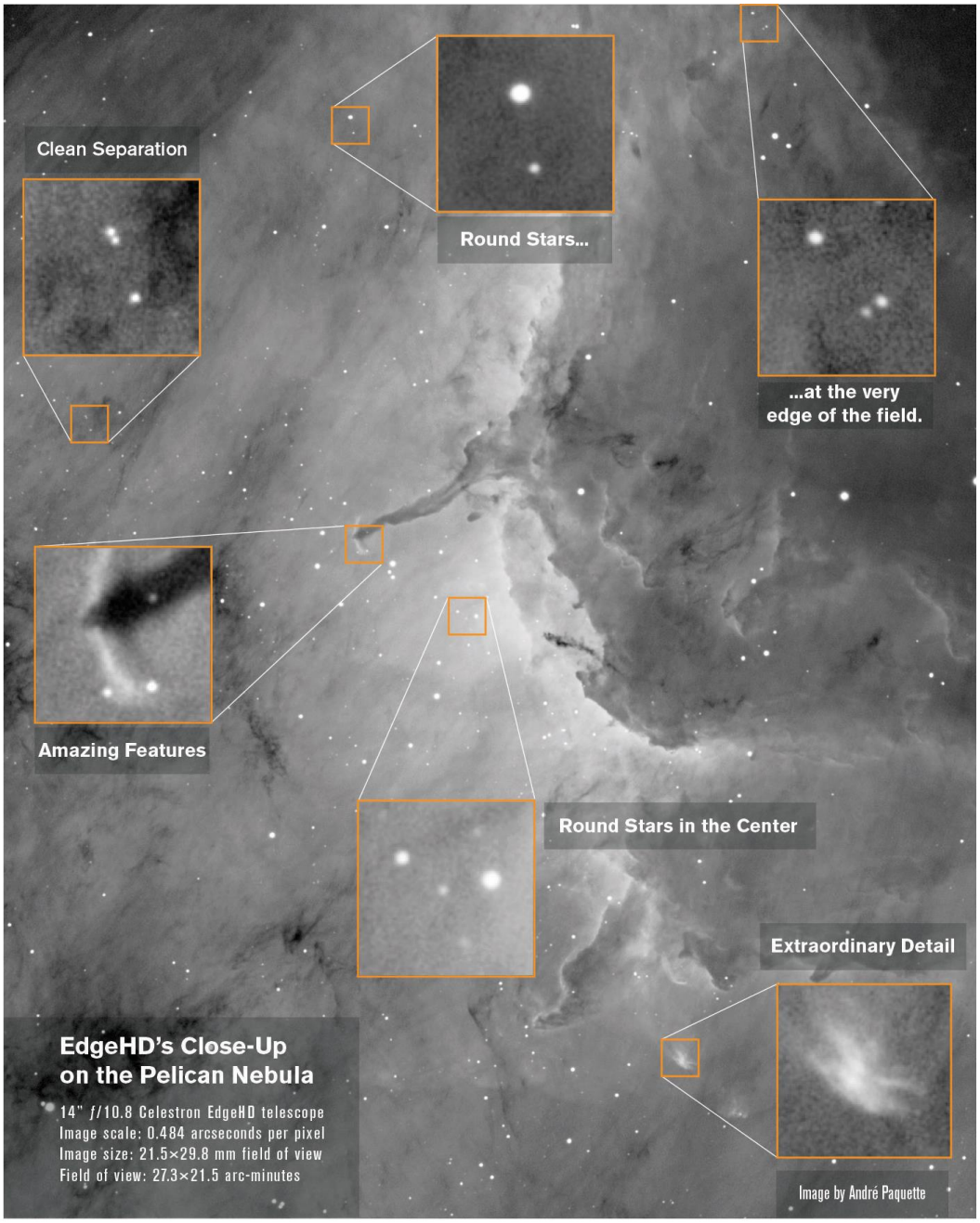


Figura 8. Dopo avere effettuato tutti i test, il test definitivo deve essere effettuato sul cielo notturno. Questa immagine ingrandita della Nebulosa Pellicano testimonia la capacità dell'EdgeHD di mettere a fuoco immagini stellari pulite, piccole e rotonde dal centro ai bordi del campo inquadrato. Il telescopio impiegato era un EdgeHD 14" su montatura CGE PRO; la camera CCD era una Apogee U16m. L'immagine è una sezione di 21.5x29.8 mm ritagliata dal fotogramma originale da 36.8x36.8mm.

Dopo aver rimosso ogni set ottico dall'autocollimatore, inviamo i componenti alla nostra camera di coating. Qui, gli specchi primario e secondario vengono metallizzati con alluminio ad alto potere riflettente, e le lenti correttrici vengono trattate anti-riflesso. Ogni set ottico viene poi installato nel tubo ottico (OTA).

I tubi ottici completi vengono poi sottoposti al test di ispezione visiva. All'interno di un tunnel per test ottici a temperatura stabilizzata, un fascio laser verde con lunghezza d'onda 532nm viene riflesso da uno specchio parabolico di alta precisione che agisce come una stella artificiale. Con un oculare ad alto ingrandimento, un ispettore della Qualità analizza in modo critico l'immagine della stella artificiale.

Per superare il test di accettazione visuale, un tubo ottico deve essere conforme alle seguenti specifiche:

- Il disco di Airy a fuoco deve essere rotondo, privo di luce diffusa attorno al disco, e deve mostrare solo un anello brillante.
- Nelle posizioni intrafocale ed extrafocale, i dischi di diffrazione deve essere rotondi, uniformi ed apparire simili su entrambi i lati del fuoco.
- Osservando con un reticolo di Ronchi a 150 coppie di linee per millimetro, le frange devono essere dritte, uniformemente spaziate, e con un alto contrasto.

Siccome le sue ottiche sono state testate e messe a punto con un banco ottico a doppio passaggio, e siccome ogni OTA assemblato è stato di nuovo testato e qualificato visualmente, le immagini fornite dal telescopio devono essere senza difetti quando si osserva e si fotografa il cielo notturno.

7. TEST DI ACCETTAZIONE FINALE E CERTIFICAZIONE

Prima di lasciare la fabbrica Celestron, ogni EdgeHD deve passare il suo Test di Accettazione Finale o FAT. Noi conduciamo il FAT sul banco ottico di test in una stanza speciale a temperatura controllata (Figura 12). Invece di usare luce laser per questo test, usiamo una sorgente con luce bianca in modo tale che il FAT riproduca le stesse condizioni in cui si troverà un utente quando osserva o fotografa il cielo notturno. Per evitare di inserire fonti di calore lungo il percorso ottico, la stella artificiale viene portata a fuoco di uno specchio parabolico di alta precisione attraverso un cavo a fibre ottiche. Dopo avere lo specchio parabolico, i raggi paralleli della luce percorrono il banco ottico fino a raggiungere l'EdgeHD sotto test, attraversano il telescopio e raggiungono una fotocamera reflex digitale posizionata al fuoco.

Usando un set di culle cinematiche di prova, non è necessario modificare la configurazione dei test tra i diversi telescopi EdgeHD. Posizioniamo semplicemente il telescopio nella sua culla di test sul banco, ed è subito pronto per il test. Il test di accettazione finale verifica l'abilità di EdgeHD di formare immagini stellari nitide al centro e ai bordi di una fotocamera reflex digitale full-frame (formato 24 × 36 mm, con una diagonale di 42 mm). Il tecnico che effetta il test di qualità attacca la fotocamera al telescopio, mette a fuoco con attenzione e acquisisce un'immagine in asse. Il telescopio viene quindi puntato in modo che l'immagine della stella artificiale cada nell'angolo del fotogramma e, senza rifocalizzazione, l'ispettore scatta un'altra immagine. Il processo viene ripetuto per ciascun angolo del fotogramma della fotocamera e un'altra immagine viene scattata al centro dell'inquadratura. Per superare il test, il telescopio deve formare un'immagine nitida al centro del campo e in ogni angolo del fotogramma della fotocamera e poi di nuovo al centro. Le immagini vengono esaminate criticamente. Per passare il test, ognuna delle immagini di prova deve essere nitida, rotonda e perfettamente a fuoco. Ogni EdgeHD che non supera il FAT viene automaticamente restituito al reparto di assemblaggio per ricontrollare la collimazione e il centraggio della lastra correttrice. Nessun EdgeHD può lasciare la fabbrica fino a quando non ha superato il FAT.

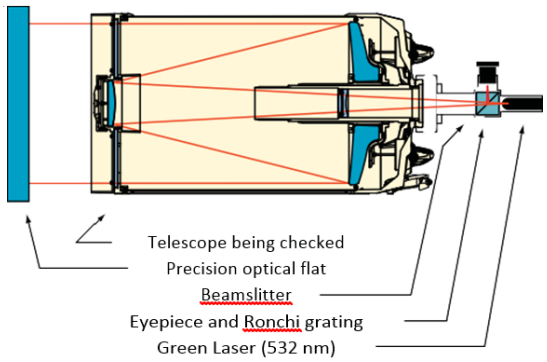


FIGURA 9. Nel test di autocollimazione, la luce attraversa un sistema ottico, viene riflesso da uno specchio piano e passa di nuovo attraverso il treno ottico. Questo metodo di prova super sensibile raddoppia le dimensioni apparenti di tutti gli errori.

FIGURA 10. Testiamo tutti i nostri specchi primari su un banco ottico mediante interferometria laser. Nella foto, le pile di specchi primari lucidati attendono i test.

FIGURA 11. Per correggere eventuali errori ottici residui, la figura dello specchio secondario viene ritoccata rispetto all'intero sistema ottico in modalità di autocollimazione a doppio passaggio. Questo delicato processo di controllo garantisce che ogni telescopio raggiunga il limite di diffrazione.

Durante tutto il processo di costruzione del telescopio, compiliamo una scheda dedicata ad ogni esemplare fabbricato a garanzia della sua qualità. Tutte le immagini di test vengono numerate e sottoposte a riferimenti incrociati. Se un telescopio viene restituito a Celestron per ricevere assistenza, possiamo consultare i nostri registri per vedere quanto bene ha funzionato prima di lasciare la nostra fabbrica. Una volta che il telescopio ha superato il FAT, applichiamo Loctite® alle viti di fermo per mantenere in modo permanente l'allineamento della piastra del correttore. Lo strumento viene quindi ispezionato attentamente per i difetti estetici. Viene pulito e confezionato per la spedizione ai nostri rivenditori e clienti.

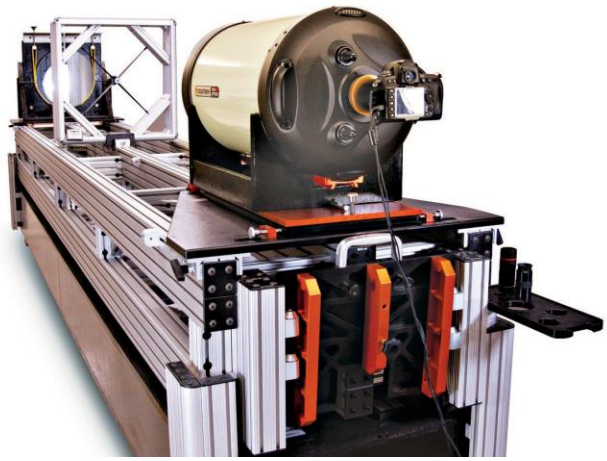


Figura 12. Nel Test di Accettazione Finale, le ottiche EdgeHD devono dimostrare la capacità di formare immagini nitide sia al centro che ai bordi del fotogramma di una fotocamera digitale full frame Canon 5D MkII, il cui sensore ha una diagonale che misura 42mm.

8. OSSERVAZIONI VISUALI CON L'EDGEHD

Siccome sia il Celestron EdgeHD che i nostri SCT classici hanno ottiche corrette al limite di diffrazione lungo l'asse ottico, le loro prestazioni sono essenzialmente le stesse quando si fanno osservazioni planetarie o lunari ad alti ingrandimenti o quando si separano stelle doppie strette, e in generale nelle situazioni osservative in cui si richiedono immagini di prima qualità in asse. Tuttavia l'EdgeHD surclassa il classico SCT quando si osservano gli oggetti del cielo profondo con oculari di ultima generazione ad alte prestazioni e con schema grandangolare.

Il classico SCT esibisce coma fuori asse e curvatura di campo, aberrazioni che sono assenti nel disegno EdgeHD. Gli oculari moderni a grande campo come il 23 mm Luminos, hanno un campo apparente di 82 gradi, e quindi inquadrano un pezzo di cielo piuttosto largo. Le stelle deformate dal coma e le immagini stellari sfuocate ai bordi del campo, così familiari agli osservatori, sono ormai superate. Con i telescopi EdgeHD, le stelle sono nitide e piccole fino ai bordi del campo.

La flangia di attacco posteriore dell'EdgeHD 800 utilizza la filettatura standard da 2 pollici x 24 filetti per pollice. Una ghiera di fissaggio fissa a questa flangia il porta oculari da 1.25" (31.8mm), e questo accetta il diagonale da 1.25" che a sua volta accetta gli oculari con diametro standard di 1.25".

Gli EdgeHD 925, 1100 e 1400 hanno una flangia filettata posteriore da 3.29" x 16 filetti per pollice. Questa flangia sovradimensionata permette di collegare pesanti camere CCD e grosse fotocamere DSRL.

Per le osservazioni visuali, va usato l'anello riduttore fornito a corredo con ogni telescopio per attaccare il porta oculari (Visual Back). Il diagonale da 2 pollici (fornito anch'esso a corredo con questi telescopi) che accetta oculari con barilotti da 1.25" o 2".

Ai vostri occhi esperti, in una notte con aria ferma e buona visione, un EdgeHD adeguatamente raffreddato si comporta eccezionalmente bene sulle stelle. Vedrete un disco Airy rotondo, pulito, un singolo anello di diffrazione ben definito e immagini simmetriche all'interno e all'esterno del puto di fuoco. Ogni EdgeHD dovrebbe risolvere le stelle doppie al limite di Dawes, rivelare sottili sfumature nelle bande nuvolose di Giove e mostrare la Divisione di Cassini negli anelli di Saturno. Negli oggetti del cielo profondo osservati con un oculare di alta qualità, le immagini stellari appaiono nitide e ben definite ai bordi del campo visivo. Se la qualità del cielo nel sito di osservazione lo consente, ogni EdgeHD rivelerà deboli e fini dettagli nebulari.

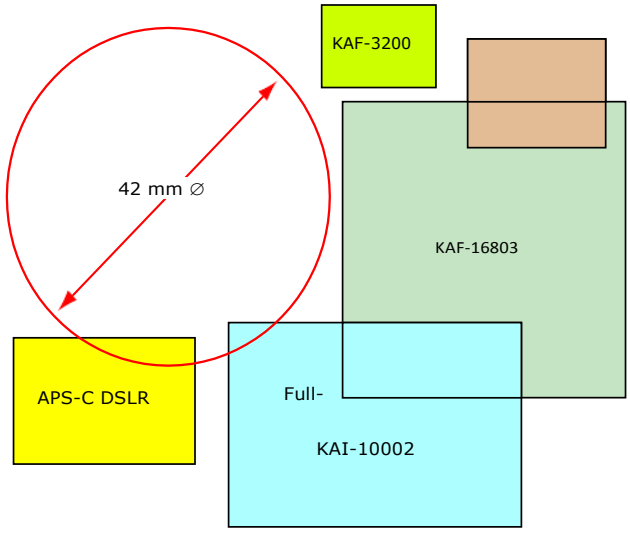


Figura 13. I telescopi EdgeHD sono progettati per fornire immagini di qualità in un campo visivo da 42 mm di diametro. Confrontate questo dato con le dimensioni dei vari formati di sensori di immagine. Il popolare formato SLR digitale APS-C si adatta facilmente. Il formato DSLR full frame è completamente coperto. L'EdgeHD copre molto bene anche il formato quadrato KAF-16803 da 36,8 mm.

EdgeHD	Aperture Focal Ratio Focal Length	Secondary Ø Obstruction1	Back Focus Distance Adapter Thread Size	Image Circle Linear Ø Angular Ø	Airy Disk Angular Ø Linear Ø Rayleigh²	Image Scale arcsec/pixel (6.4 µm pixel)
EdgeHD 800	203.2mm f/10.456 2125mm	68.6mm 34%	133.35mm 2.00"-24 tpi	42mm Ø 68.0 arcmin	1.36" Ø 14.0µm Ø 0.68"	0.62"/pix
EdgeHD 925	235mm f/9.878 2321mm	85.1mm 36%	146.05mm 3.29"-16 tpi	42mm Ø 62.2 arcmin	1.18" Ø 13.2µm Ø 0.59"	0.57"/pix
EdgeHD 1100	279.4mm f/9.978 2788mm	92.3mm 33%	146.05mm 3.29"-16 tpi	42mm Ø 51.8 arcmin	0.99" Ø 13.3µm Ø 0.50"	0.47"/pix
EdgeHD 1400	355.6mm f/10.846 3857mm	114.3mm 32%	146.05mm 3.29"-16 tpi	42mm Ø 37.4 arcmin	0.78" Ø 14.4µm Ø 0.39"	0.34"/pix

Il simbolo Ø significa "diametro". L'ostruzione centrale viene fornita come percentuale dell'apertura.
Il Limite di Rayleigh per il potere risolutivo vale per risolvere stelle doppie con componenti di luminosità uguale. Il simbolo " significa arcosecondi

9. RIPRESA DI IMMAGINI CON GLI EDGEHD

Il disegno ottico Celestron EdgeHD è stato progettato e ottimizzato per l'imaging con fotocamere CCD astronomiche, fotocamere DSLR (digitali), sensori per video astronomia, oculari elettronici e webcam. Abbiamo progettato gli EdgeHD 800 per fornire le migliori immagini ad una distanza di 5,25 pollici (133,35 mm) dietro la superficie della ghiera di fissaggio con filettatura 2.00 × 24 del telescopio. I modelli EdgeHD 925, 1100 e 1400 formano le loro migliori immagini a 5,75 pollici (146,05 mm) dietro la ghiera di fissaggio filettata da 3.290 × 16 tpi del telescopio. Per ottenere i migliori risultati, il sensore di immagine deve essere posizionato entro ± 0,5 mm da questa distanza di back focus.

È facile posizionare una fotocamera reflex digitale (DSLR) alla distanza corretta usando l'adattatore T "piccolo" per l'EdgeHD 800 (articolo codice CE93644) oppure il Large T-Adapter per gli EdgeHD 925, 1100 e 1400 (articolo CE93646). L'adattatore piccolo è lungo 78,35 mm mentre l'adattatore grande è lungo 91,05 mm; in entrambi i casi il punto di messa a fuoco cade esattamente 55mm dietro l'adattatore T. Poiché 55mm è la distanza standard tra sensore T-mount e sensore, aggiungere un adattatore T-Ring (T-Ring per Canon EOS, articolo # 93419, T-Ring per Nikon, articolo n. 93402) e attaccare la fotocamera ad esso. Questo è tutto quello che devi fare per posizionare la tua fotocamera reflex digitale nella corretta posizione di back-focus. (A proposito, se non hai mai sentito parlare del sistema di montaggio a T, è venuto il momento di spiegare cos'è. L'attacco a T è un insieme di dimensioni e distanze standard del settore per obiettivi fotografici. × 0,75) è disponibile per la maggior parte delle fotocamere CCD astronomiche. La distanza standard da flangia a sensore T-mount è 55mm.

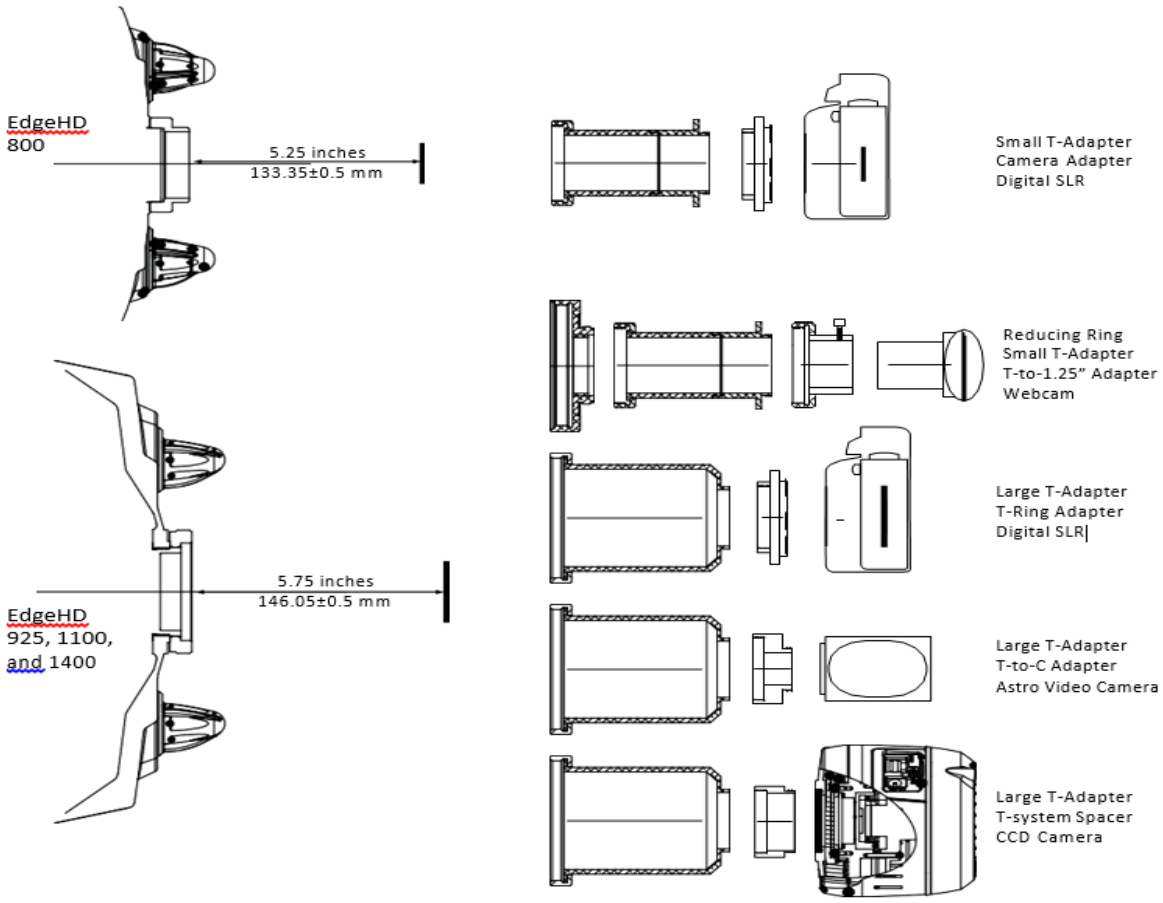
L'attacco a T inoltre consente anche l'attacco di camere CCD/CMOS. Consulta il manuale d'uso del sensore per trovare la distanza corretta tra sensore e flangia. Utilizzando l'adattatore T Celestron con telescopi Edge HD si raggiungono automaticamente i 55mm; se tuttavia la distanza tra il sensore e la flangia frontale del sensore in vostro possesso è di 35mm sarà necessario inserire un distanziatore opzionale di 20mm. In caso di particolari esigenze contattare il supporto tecnico.

In astrofotografia raccomandiamo l'utilizzo di componenti con sistema a T dotati di filettatura, non solo per il posizionamento alla corretta distanza del sensore, ma anche per garantire la perfetta ortogonalità tra il sensore stesso e il treno ottico.

Per montare camere astronomiche per imaging planetario utilizzare l'adattatore T con il raccordo T-C. L'innesto C è uno standard industriale universale.

Per utilizzare invece sistemi di ripresa più comuni con raccordi da 31.8mm o 50.8mm semplicemente utilizzare i componenti utilizzati per l'osservazione.

Con un ottimo stazionamento al polo e con una buona montatura senza bisogno di autoguidare è possibile fare fotografie fino a circa 30'' o più di posa. Con queste tempistiche si possono fotografare oggetti come la Grande Nebulosa d'Orione, la Galassia di Andromeda, ammassi stellari, etc. Se si vogliono tuttavia effettuare fotografie con tempi di posa maggiori è necessario utilizzare un sistema di autoguida. Un funzionale e relativamente economico sistema di autoguida consiste in un piccolo telescopio rifrattore montato in parallelo con il tubo principale. Sono sufficienti qualche raccordo e una barra a coda di rondine per collegare senza flessioni il tubo di guida secondario al tubo principale. Con questo tipo di setup è quindi possibile collegare una camera di autoguida per potere esporre con tempi di parecchi minuti, senza osservare alcuna strisciata delle stelle. Oltre al sistema di guida in parallelo è possibile anche utilizzare il sistema di guida fuori asse (CE93648).



Celestron EDGE HD, un sistema di imaging versatile

E' facile posizionare la propria reflex DSLR, la propria camera astronomica o camere di altro tipo al fuoco diretto dei telescopi Celestron Edge HD. Per ottenere la massima resa ottica è consigliato posizionare il sensore ad una distanza dalla flangia del tubo ottico di 133.33 mm nel caso dell'EDGE HD 8 e di 146.05 nel caso degli EDGE HD 9.25, 11 e 14.

.

Coloro che desiderano fotografare con un rapporto focale più veloce dei classici f/10 ed f/11 dei telescopi Celestron Edge HD possono acquistare i riduttori di focale appositamente progettati per ogni tubo della serie Edge HD. Si tratta di sistemi ottici a 5 elementi che riducono la focale di un fattore 0.7X e si innestano tramite filettatura alla culatta del telescopio direttamente. Consulta il catalogo per conoscere i codici prodotto e ulteriori specifiche tecniche.

Il riduttore di focale si innesta direttamente alla filettatura 3.290x16 tpi sulla culatta del telescopio. Poiché la distanza di back-focus per tutti i modelli ad esclusione dell'8 pollici è di 146.05mm è possibile usare lo stesso adattatore T e anello T per la camera. Il campo lineare è ancora pari a 42mm, ma il campo angolare è di ben il 43% più ampio e il tempo di esposizione dimezzato due volte.

Per riprese ad ampio campo e a basso rapporto focale tutti i telescopi Celestron Edge HD supportano il sistema Starizona Hyperstar. Montato direttamente sulla lastra correttrice al posto dello specchio secondario il sistema Hyperstar consente al telescopio di funzionare ad un rapporto focale di f/1.9 con l'Edge HD 14 e i restanti Edge HD 8, 9,25 e 11 ad un rapporto di f/2.0 o f/2.1. Il sistema Hyperstar copre 27mm di campo visivo e si combina perfettamente con formati APS-C. Con rapporti focali simili le esposizioni necessarie per un conseguimento di un rapporto segnale rumore soddisfacenti si riducono a pochi minuti, il che rende possibile anche fotografare senza autoguda.

Ovviamente è possibile moltiplicare la lunghezza focale del telescopio Edge HD utilizzando lenti di Barlow come ad esempio le versioni 2X e 3X X-Cel LX Celestron e 2.5x Luminos Celestron. In ambito di fotografia ad alta risoluzione il telescopi Edge HD possono funzionare senza alcun problema con rapporti focali fino a f/32.

Tirando le somme possiamo asserire che i telescopi Celestron Edge HD rappresentino un sistema fotografico versatile e adattabile ad ogni possibile esigenza. Sia a focale nativa f/10 o f/11, sia con il riduttore 0.7X dedicato a ciascun modello, sia con Barlow 2X, 2.5X e 3X, sia con il sistema Hyperstar è possibile catturare le bellezze del Cosmo in ogni possibile forma, dal largo campo, all'altissima risoluzione. Quando si acquista un tubo ottico Edge HD si compra uno strumento capace di soddisfare ogni esigenza visuale e fotografica di anche l'astrofilo ed astrofotografo più esigente.

10. CONCLUSIONE

I telescopi Schmidt-Cassegrain hanno consentito per decenni agli astrofili di apprezzare e godere delle bellezze del cielo notturno. Le esigenze del giorno d'oggi, specialmente quelle di tipo astrofotografico, hanno richiesto da parte nostra lo studio di telescopi dalle permormance estreme sia al centro del campo sia ai bordi dello stesso, specie su sensori di grandi dimensioni. L'esigenza era quella di uno strumento capace di soddisfare i moderni standard di astrofotografia ad un prezzo abbordabile dal comune utente. Celestron ha progettato i telescopi Edge HD proprio per questi motivi. I telescopi Edge HD non solo sono strumenti aplanatici, senza aberrazione sferica, senza coma, con aberrazione cromatica praticamente trascurabile, ma hanno performance all'estremità del campo irraggiungibili dai comuni sistemi ad oggi presenti sul mercato. Speriamo di avervi mostrato in queste poche pagine tutte le caratteristiche che fanno dei telescopi Edge HD la vostra scelta ideale capace di soddisfare tutte le possibili esigenze tipiche degli astrofili ed astrofotografi dei tempi odierni.

11. REFERENZE

DeVany, Arthur S., Master Optical Techniques. John Wiley and Sons, New York, 1981.

Fischer, Robert E.; Biljana Tadic-Galeb; and Paul R. Yoder, Optical System Design. McGraw Hill, New York, 2008.

Geary, Joseph M., Introduction to Lens Design. Willmann-Bell, Richmond, 2002.

Malacara, Daniel, ed., Optical Shop Testing. John Wiley and Sons, New York, 1978.

Rutten, Harrie, and Martin van Venrooij, Telescope Optics: A Comprehensive Manual for Amateur Astronomers.
Willmann-Bell, Richmond, 1999.

Smith, Gregory Hallock, Practical Computer-Aided Lens Design. Willmann-Bell, Richmond, 1998.

Smith, Gregory Hallock; Roger Ceragioli; Richard Berry, Telescopes, Eyepieces, and Astrographs: Design, Analysis, and Performance of Modern Astronomical Optics. Willmann-Bell, Richmond, 2012.

Wikipedia. Search references to specific topics.
See: http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_lens_design and many associated links.

Wikipedia. Search references to T-mount.
See: http://en.wikipedia.org/wiki/T-mount and associated camera system links.

Wilson, R. N., Reflecting Telescope Optics I and II. Springer-Verlag, Berlin, 1996.

ZEMAX® Optical Design Program, User's Guide. Radiant Zemax LLC, Tucson, 2012.

APPENDICE A:

Profili tecnici dei telescopi Edge HD

Quando si valutano i telescopi astronomici gli astrofotografi devono tenere in considerazione diversi parametri che possono influenzare la qualità finale dell'immagine. Tra questi ricordiamo il campionamento, il pattern di diffrazione, la qualità del seeing astronomico e l'accuratezza di guida.

Per supportare gli astrofotografi questo Appendice mostra lo spot diagram per tutti i telescopi della serie Edge HD. Per determinare la dimensione dell'immagine stellare ripresa nelle sessioni di fotografia bisogna anche considerare tutti gli altri fattori in gioco.

Nella matrice in allegato per ogni telescopio Edge HD ogni quadrato nero è di lato 64 µm ed è composto da dieci piccoli quadrati con lato 6.4 µm che rappresentano in termini di esposizione i pixel tipici di una camera moderna CCD. Il disco nero rappresenta invece il disco di Airy che come è evidente è incluso in ogni lato da soli due pixel. Questo implica che ogni dettaglio presente nell'immagine del telescopio viene riprodotto sul sensore, questo ovviamente in condizioni ideali. Facendo riferimento alla Figura A1 la colonna a sinistra mostra il disco di Airy per un telescopio con ostruzione del 34%. Poiché nel disco di Airy la luce è concentrata in una singola piccola area al centro per potere riprendere ogni dettaglio in immagini planetarie o ad alta risoluzione è necessario ingrandire il disco di Airy utilizzando una lente di Barlow 2X o 3X.

Sfortunatamente a meno di trovarsi nello Spazio ad osservare queste sono condizioni puramente ideali. Il seeing astronomico dovuto alla turbolenza atmosferica causa deformazioni notevoli all'immagine. In condizioni di seeing superbo gli effetti possono essere attorno al 1arcsec, come illustrato nella seconda colonna con quindi un valore di FWHM (full-width half-maximum) di 1 arcosecondo. Le restanti colonne mostrano gli effetti indotti da seeing eccellente (1,5 arcsec) e da seeing medio delle regioni più comuni di osservazione (2 arcsec). Come è possibile notare dai diagrammi all'aumentare della lunghezza focale aumenta di conseguenza anche la sfocatura indotta. Con quindi grandi apertura e lunghezze focali elevate le notti di seeing "fruibile" sono variabili, mentre con telescopi più piccoli di diametro e di lunghezza focale ridotta il seeing gioca un ruolo di minore entità.

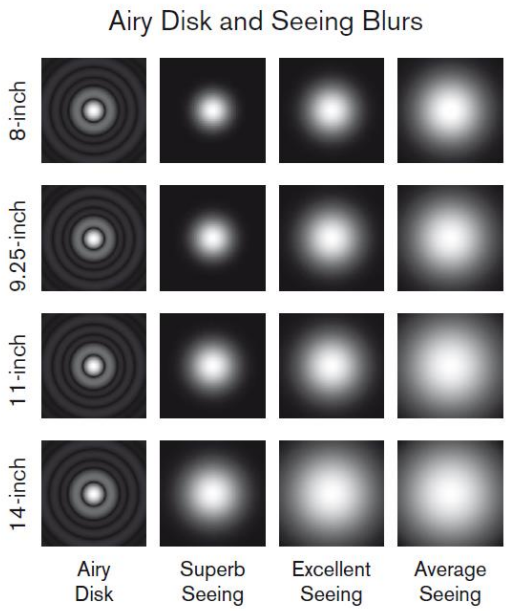


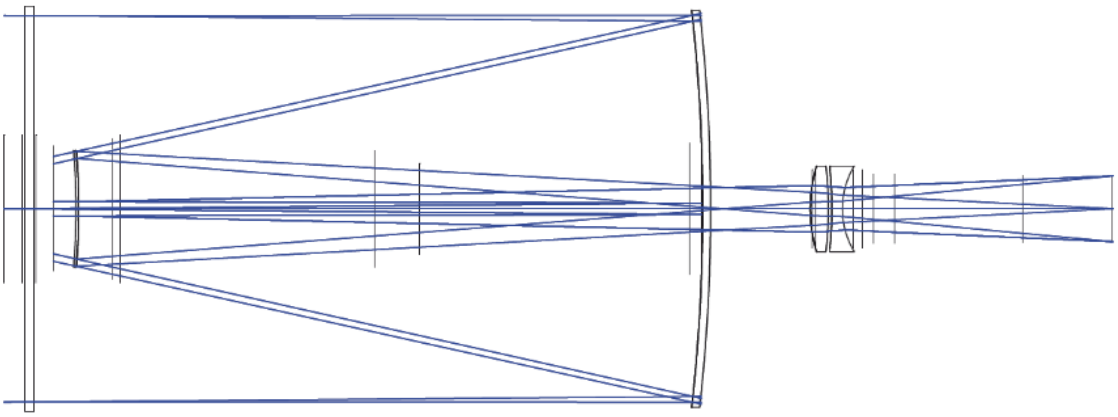
Figura A1.

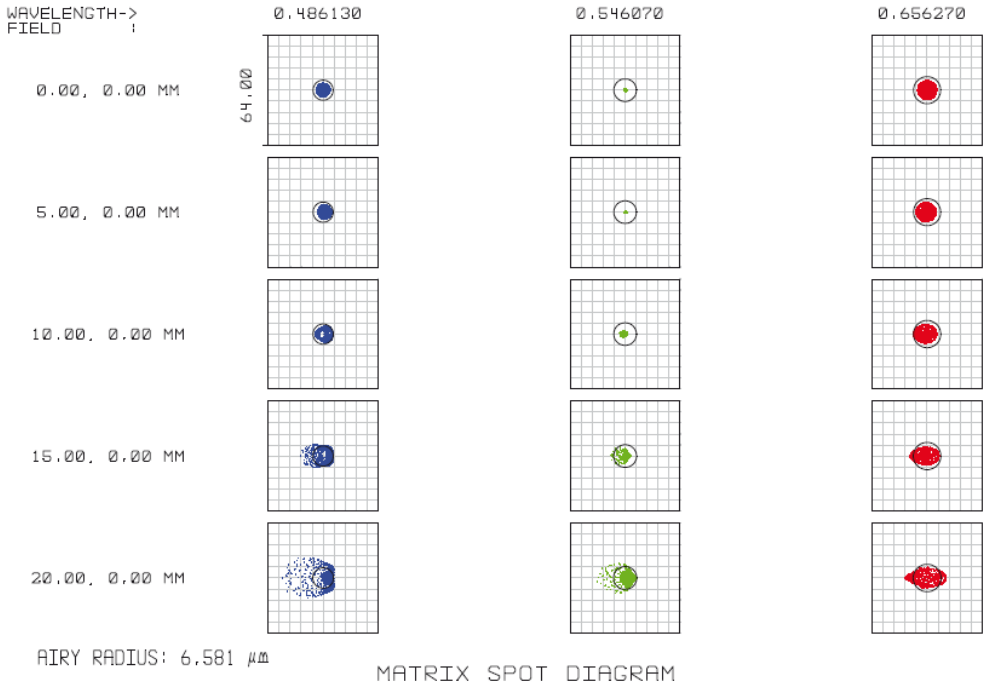
Celestron Edge HD 8

Sull'asse gli spot diagram mostrano come l'Edge HD 8 sia diffraction-limited sia nel verde (per osservazione) sia per il rosso (Imaging). Poiché i raggi blu sono concentrati all'interno del disco di Airy l'Edge HD 8 è diffraction-limited anche nella luce blu. L'immagine rimane diffraction-limited anche in campo esterno, molto superiore a quanto sia il campo occupato dalla Luna piena.

Per un astrofotografo che utilizza una SLR camera APS-C si osserva una riduzione relativa di illuminazione fino ad un valore effettivo dell'84% all'estremità del campo, quindi se negli oggetti luminosi la perdita di luce resta trascurabile, nelle immagini di oggetti deboli è consigliato eseguire flat-field. Per la moderna astronomia è tuttavia consigliabile eseguirli sempre.

Leggerezza e versatilità sono i cavalli di battaglia del tubo Edge HD 800. Il campo coperto è di 42mm, ma abbiamo ottimizzato le ottiche del telescopio per i 28mm, dimensione tipica dei sensori APS-C presenti oggi sul mercato.

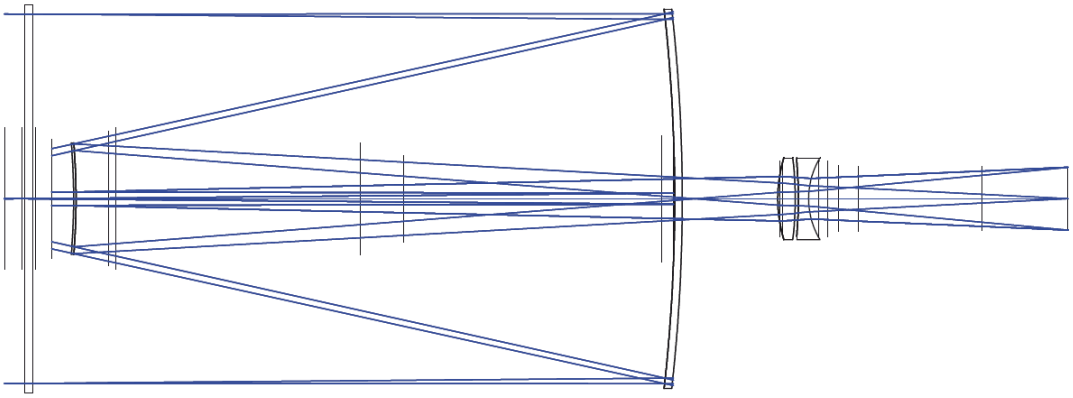


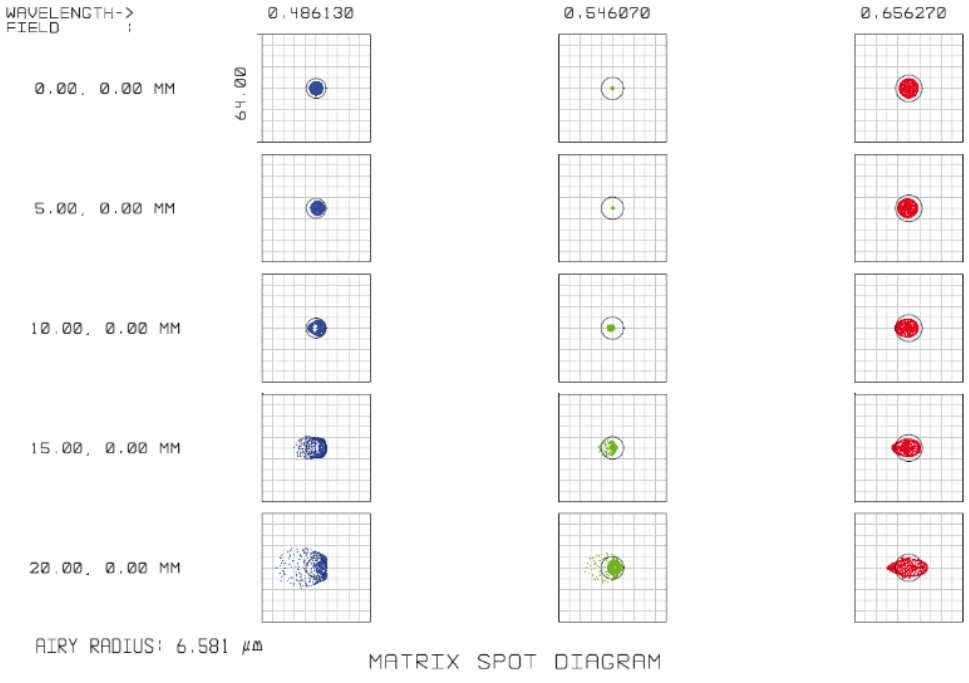


Celestron Edge HD 925

La matrice mostra come sull'asse ottico principale a tutte e tre le lunghezze d'onda le immagini sia diffraction-limited e lo rimangono fino a 15mm dal centro. Mentre nel blu e nel rosso le immagini sono leggermente allungate, nel verde la condizione resta soddisfatta anche all'estremità del campo. La dimensione degli spot è quindi correttamente bilanciata.

In notti di seeing medio le stelle saranno riprodotte con un valore di FWHM di 23 µm, comparabile in dimensioni agli spot diagram all'estremità del campo. L'illuminazione relativa dei telescopi Edge HD 925 è eccellente, infatti i 12mm centrali sono completamente privi di vignettatura, mentre si osservano ai bordi del campo solo riduzioni nell'ordine del 10%. Inutile dire come l'Edge HD 925 rappresenti la scelta ideale per la fotografia con sensori di notevoli dimensioni.

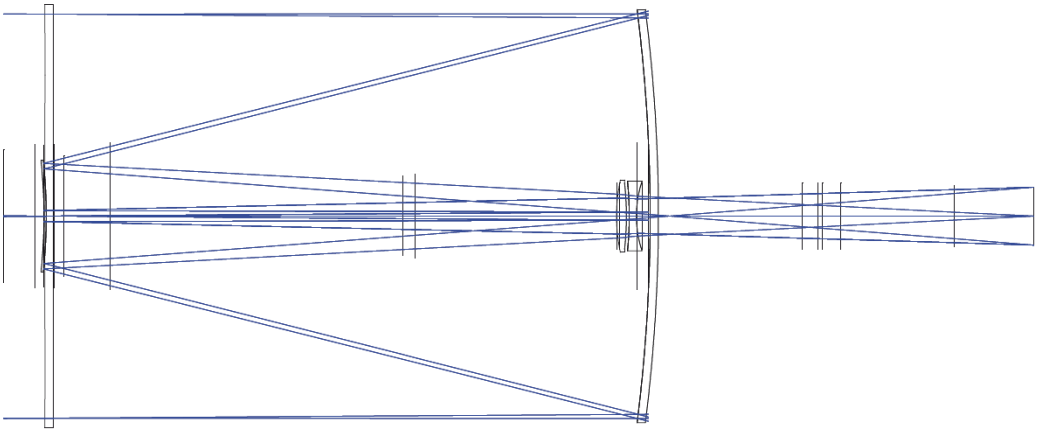


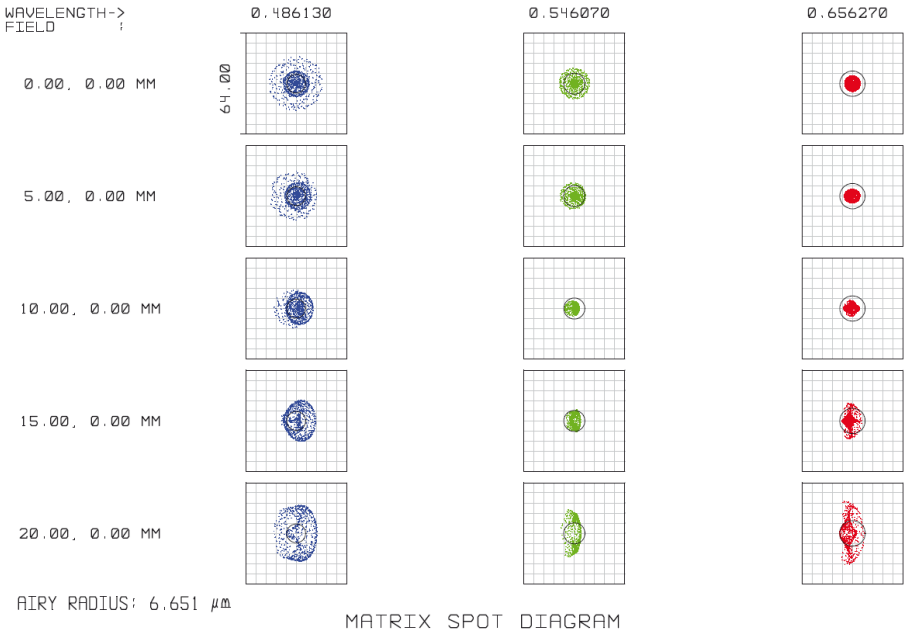


Celestron Edge HD 1100

Il telescopio Edge HD 11 è ottimizzato per produrre immagini definite e contrastate al limite di diffrazione sia nel verde sia nel rosso. A queste lunghezze d'onda è diffraction-limited fino a 2/3 dell'intero cerchio di immagine pari a 42mm. L'illuminazione rimane al 100% fino ai 16mm centrali per poi lentamente decrescere ad un valore di 83% all'estremità del campo. Per camere APS-C i flat sono superflui, mentre è consigliabile sempre con camere CCD.
Durante le notti con seeing eccellente da 1.5 acrsec FWHM l'Edge HD 11 è in grado di fornire immagini perfettamente corrette fino a 30mm di cerchio di immagine e stelle comunque ancora ben definite fino ai 42mm di periferia del campo.

L'Edge HD 11 è senza dubbio un telescopio hi-end per riprese eccezionali del profondo cielo e ad alta risoluzione.

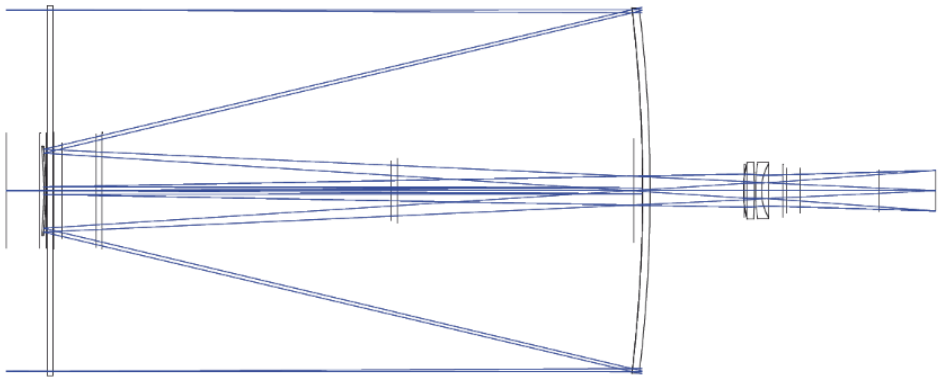


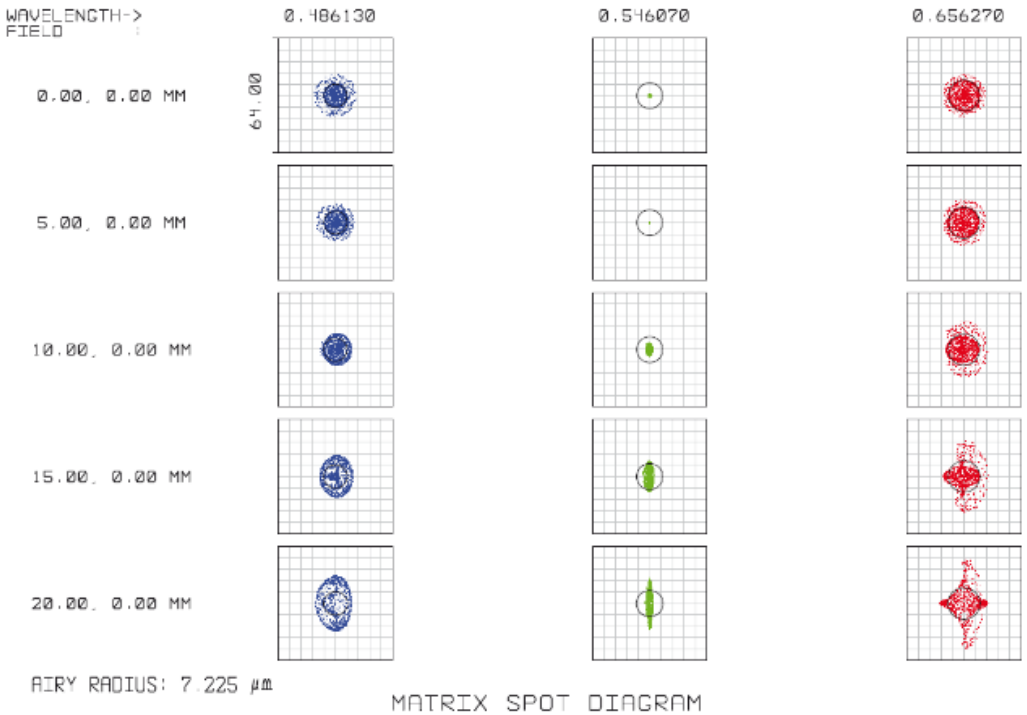


Celestron Edge HD 1400

Il telescopio Edge HD 14 mostra il meglio di sé in contesti di postazione fissa e consente di catturare immagini impossibili per telescopi dal diametro minore.

La matrice mostra come lo sferocromatismo sia perfettamente bilanciato con spot di qualità migliore rispetto ad un telescopio rifrattore apocromatico delle medesima apertura. In luce verde le immagini sono al limite di diffrazione fino ai 28mm di cerchio di immagine, con un'illuminazione relativa del 100% fino ai 16mm centrali, mentre decresce lentamente fino ad un valore di 83% agli estremi di un sensore full-frame da 35mm.





APPENDICE B:

Profilo tecnico dei riduttori di focale 0.7X dedicati Edge HD

L'accessorio più utile per un telescopio Edge HD è sicuramente il riduttore di focale 0.7X dedicato. Anche se la lunga focale è un grosso vantaggio in fotografia di galassie, nebulose, specie quelle planetarie e ammassi, può rappresentare un ostacolo per la ripresa di oggetti con campo maggiore. Oltretutto avere a disposizione un rapporto focale minore in valore implica tempi di posa minori per ottenere il medesimo segnale. Abbiamo prodotto il riduttore 0.7X per i telescopi Edge HD soprattutto per questi motivi. Avrete quindi a disposizione un campo 1.4X maggiore in diametro angolare con circa il doppio del campo reale ripreso e tempi di posa dimezzati per il medesimo rapporto segnale rumore. Per riprese di immagini a largo campo, riprese in banda stretta come Halpha, OIII, SII o di altri oggetti esotici il riduttore di focale è una scelta obbligata.

Il riduttore di focale per Edge HD di Celestron è un prodotto di alta ingegneria ottica studiato e prodotto specificatamente per la serie Edge HD.

Per ogni telescopio della serie Edge HD è disponibile un riduttore di focale dedicato prodotto con 4 elementi ottici nel caso del modello da 8'' e da 5 elementi per i restanti. Per garantire uno standard qualitativo paragonabile al telescopio sono stati utilizzati materiali di prima qualità per la costruzione di ciascun elemento ottico. Infatti i vetri a bassa dispersione in lantanio garantiscono livelli trascurabili di aberrazione cromatica e geometrica. Tutte le superfici sono trattate per aumentare i livelli di trasmissione ottiche e fornendo quindi immagini ad alto contrasto senza riflessi fantasma nel campo.

La matrice mostra come le immagini stellari nel verde siano al limite di diffrazione, mentre le restanti lunghezze d'onda siano concentrate comunque attorno al disco di Airy. Stessa cosa alla periferia del campo, con solo una piccola sfocatura nel rosso.

La costruzione con tecnica CNC garantisce il massimo della qualità e della garanzia anche con grossi carichi montati quali camere CCD, CMOS o reflex Full Frame. L'intera struttura in metallo garantisce il massimo della rigidità per un'ortogonalità garantita anche con carichi notevoli.

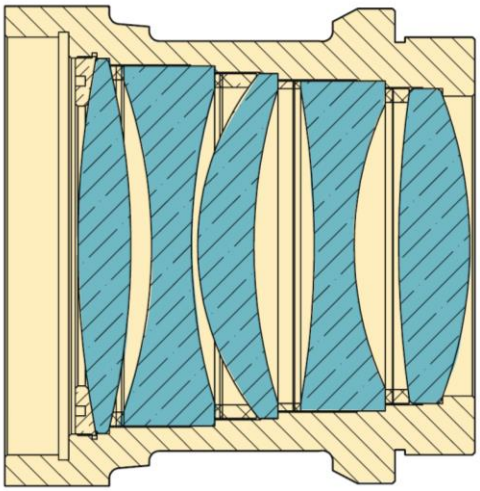
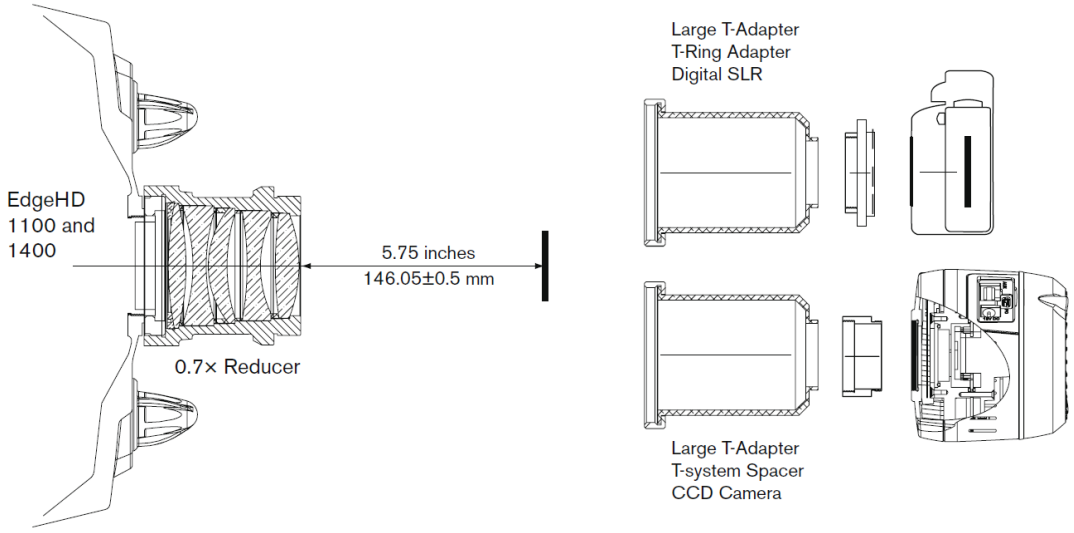
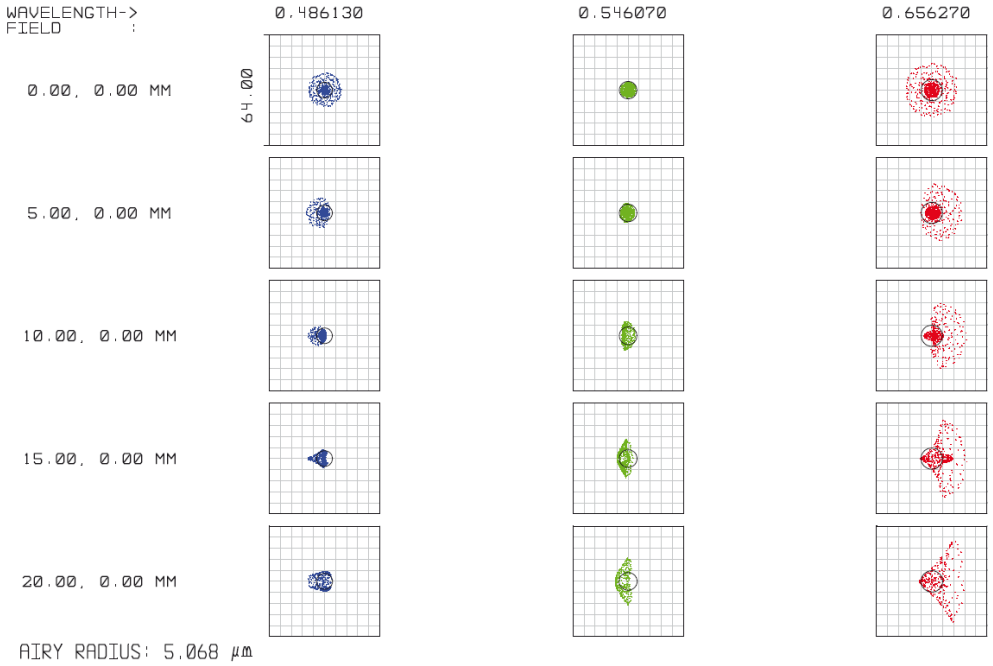


Figura B1. Il riduttore 0.7X per Edge HD riduce il rapporto focale mantenendo immagini nitide e dall'alto contrasto in tutto il campo. Questo consente agli astrofotografi di ottenere immagini dall'elevato rapporto segnale rumore, campo maggiore e tempi di posa dimezzati per l'ottenimento del medesimo segnale rispetto ad f/ nativo.





MATRIX SPOT DIAGRAM

14 EDGE HD + 0.70X FOCAL REDUCER F-7.6055